



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

Rakennuksen ääniolosuhteiden suunnittelu ja toteutus



Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:28

Rakennuksen ääniolosuhteiden suunnittelu ja toteutus

Ympäristöministeriö

ISBN: 978-952-361-035-4

Taitto: Valtioneuvoston hallintoyksikkö, Julkaisutuotanto

Helsinki 2019

Kuvailulehti

Julkaisija	Ympäristöministeriö	2019	
Tekijät	Mikko Kylliäinen, Valtteri Hongisto		
Julkaisun nimi	Rakennuksen ääniolosuhteiden suunnittelu ja toteutus		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ympäristöministeriön julkaisuja 2019:28		
Diaari/hankenumero		Teema	Rakennettu ympäristö
ISBN PDF	978-952-361-035-4	ISSN PDF	2490-1024
URN-osoite	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-035-4		
Sivumäärä	50	Kieli	Suomi
Asiasanat	Akustiikka, huoneakustiikka, meluntorjunta, rakentaminen, ääniolosuhde, melu, kaiuntaisuus		
Tiivistelmä <p>Tilan tarkoituksenmukainen käyttö edellyttää sopivia ääniolosuhteita. Ääniolosuhteet vaikuttavat esimerkiksi oppimiseen ja vuorovaikutukseen, työskentelyyn, toipumiseen sairaudesta, lepoon ja kokemukseen ympäristön miellyttävyydestä.</p> <p>Ohjeessa esitetään menettelytavat rakennuksen ja sen tilojen ääniolosuhteiden suunnitteluun ja sitä kuvaavien ominaisuuksien todentamiseen. Ääniolosuhteiden suunnittelun tarkoituksena on hallita äänen etenemistä, heijastumista ja vaimenemista käyttötarkoitukseltaan erilaisissa tiloissa. Ohjeessa opastetaan menettelytavoista, joiden avulla ääniolosuhteita koskevat vähimmäisvaatimukset voidaan saavuttaa.</p> <p>Hyvät ääniolosuhteet riippuvat sekä rakennuksen ominaisuuksista että käyttäjästä. Ohje ei tarkastele tilan käyttäjän toiminnasta aiheutuvaa ääntä.</p>			
Kustantaja	Ympäristöministeriö		
Julkaisun jakaja/myynti	Sähköinen versio: julkaisut.valtioneuvosto.fi Julkaisumyynti: julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi		

Presentationsblad

Utgivare	Miljöministeriet	2019	
Författare	Mikko Kylliäinen, Valtteri Hongisto		
Publikationens titel	Planering och genomförande av ljudförhållandena i byggnader		
Publikationsseriens namn och nummer	Miljöministeriets publikationer 2019:28		
Diarie-/ projektnummer		Tema	Byggd miljö
ISBN PDF	978-952-361-035-4	ISSN PDF	2490-1024
URN-adress	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-035-4		
Sidantal	50	Språk	finska
Nyckelord	Akustik, rumsakustik, bullerbekämpning, byggande, ljudförhållanden, buller, eko		
Referat <p>En lokal bör ha lämpliga ljudförhållanden för att kunna användas på ändamålsenligt sätt. Goda ljudförhållanden möjliggör ändamålsenlig användning av utrymmena, till exempel för lärande och växelverkan, arbete, vila och återhämtning från sjukdom, och goda ljudförhållanden ger också en upplevelse av att miljön är trivsamt.</p> <p>Anvisningen presenterar olika sätt att gå tillväga vid planering av ljudförhållandena i en byggnad och dess utrymmen och vid fastställande av de egenskaper som beskriver detta. Syftet med planeringen av ljudförhållandena är att ha kontroll över hur ljudet sprider sig, reflekteras och avtar i utrymmen med olika användningsändamål. Anvisningen ger tips på olika tillvägagångssätt som hjälper planerare att uppfylla minimikraven i fråga om ljudförhållanden.</p> <p>Goda ljudförhållanden är beroende av såväl byggnadens egenskaper som byggnadens användare. Anvisningen behandlar inte det ljud som lokalens användare orsakar med sin verksamhet.</p>			
Förläggare	Miljöministeriet		
Distribution/ beställningar	Elektronisk version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Beställningar: julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi		

Description sheet

Published by	Ministry of the Environment		2019
Authors	Mikko Kylliäinen, Valtteri Hongisto		
Title of publication	Planning and implementation of the acoustic conditions of buildings		
Series and publication number	Publications of the Ministry of Environment 2019:28		
Register number		Subject	Built environment
ISBN PDF	978-952-361-035-4	ISSN (PDF)	2490-1024
Website address (URN)	http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-035-4		
Pages	50	Language	Finnish
Keywords	Acoustics, room acoustics, noise abatement, construction, acoustic conditions, noise, reverberance		
Abstract <p>In order for a space to fulfil its intended purpose, it must have suitable acoustic conditions. Suitable acoustic conditions enable the appropriate use of spaces as concerns learning and interaction, working, recovery from illness, rest, and experience of a comfortable environment.</p> <p>These instructions set out the procedures for planning and verifying the acoustic conditions of buildings and their premises. The purpose of the design of acoustic conditions is to control the transmission, reflection and absorption of sound in spaces with different uses. These instructions provide guidance on procedures for meeting the minimum requirements concerning acoustic conditions.</p> <p>Good acoustic conditions depend on both the characteristics of the building and the users. These instructions do not examine the sound generated by the users of premises.</p>			
Publisher	Ministry of the Environment		
Distributed by/ publication sales	Online version: julkaisut.valtioneuvosto.fi Publication sales: julkaisutilaukset.valtioneuvosto.fi		

Sisältö

Esipuhe	9
1 Määritelmät	10
2 Johdanto	15
3 Tausta	17
3.1 Toimistotilat	17
3.1.1 Toimitilojen kehittyminen	17
3.1.2 Toimistotilan ääniolosuhteiden kokeminen	18
3.1.3 Avotoimiston ääniolosuhteet	19
3.1.4 Toimistomelun vaikutukset	23
3.2 Avoimet oppimisympäristöt	26
3.2.1 Avointen oppimisympäristöjen kehittyminen	26
3.2.2 Avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteet	27
3.3 Opetustilat	29
4 Ääniolosuhteiden arvioinnin mittaluvut	31
4.1 Jälkikaiunta-aika	31
4.2 Puheensiirtaindeksi	32
4.3 Häiritsevyysetäisyys	34
5 Avoimen toimistotilan suunnittelu	35
5.1 Suunnittelukriteerit	35
5.2 Akustiset suunnitteluratkaisut	35
5.3 Puheenpeittoääni	37
5.4 Käyttäjän vaikutus tilan ääniolosuhteisiin	39
6 Avoimen oppimisympäristön suunnittelu	40
6.1 Suunnittelukriteerit	40
6.2 Akustiset suunnitteluratkaisut	40
7 Opetustilan suunnittelu	42
7.1 Suunnittelukriteerit	42
7.2 Akustiset suunnitteluratkaisut	42

8	Kokoustilan suunnittelu	44
8.1	Suunnittelukriteerit	44
8.2	Akustiset suunnitteluratkaisut.....	44
9	Potilashuoneen, ruokailu-, hoito- ja harrastushuoneen sekä liikuntatilan suunnittelu	45
10	Rakennuksen korjaaminen ja muuttaminen.....	46
11	Suunnittelukriteereiden raportointi ja todentaminen	47
	Viitteet	48

ESIPUHE

Ympäristöministeriö antaa seuraavan ohjeen rakennusten ääniolosuhteiden suunnittelusta ja toteutuksesta. Ohje tulee voimaan 16.12.2019 ja on voimassa toistaiseksi. Maankäyttö- ja rakennuslaissa säädetään rakennusten olennaisista teknisistä vaatimuksista. Meluntorjuntaa ja ääniolosuhteita koskevaa vaatimusta on tarkennettu ympäristöministeriön asetuksella rakennuksen ääniympäristön vähimmäisvaatimuksista (796/2017).

Tilan tarkoituksenmukainen käyttö edellyttää sopivia ääniolosuhteita. Tämä lisää muun muassa työtehoa ja -turvallisuutta, edistää työhyvinvointia, keskittymistä ja oppimista, sekä antaa mahdollisuuden luottamuksellisten keskustelujen käymiseen eikä vaaranna tietosuojaa.

Tässä ohjeessa käsitellään rakennuksen ja sen tilojen ääniolosuhteiden suunnittelua ja sitä kuvaavien ominaisuuksien todentamista. Ohjeen tarkoituksena on selkeyttää ja edesauttaa rakennuksen ääniolosuhteiden vaatimustenmukaisuuden toteutumista. Ohjeessa opastetaan niistä ääniolosuhteiden suunnitteluun ja mittausstandardien mukaiseen todentamiseen liittyvistä menettelytavoista, joiden avulla ääniolosuhteita koskevat vähimmäisvaatimukset voidaan saavuttaa.

Ohje on tarkoitettu rakennushankkeeseen ryhtyvien, rakennusten ja tilojen käyttäjille, rakennuttajille, suunnittelijoille, urakoitsijoille sekä rakennusvalvontaviranomaisten käyttöön. Ohjeen ovat laatineet TkT Mikko Kylliäinen Tampereen yliopistosta ja dosentti, TkT Valtteri Hongisto Turun ammattikorkeakoulusta. Työtä on valvonut Ari Saarinen ympäristöministeriöstä. Ohje ei ole viranomaisia, rakennushankkeeseen ryhtyvää tai suunnittelijoita sitova, mutta sen voidaan katsoa edustavan rakentamisessa noudatettavaa hyvää rakentamistapaa ääniolosuhteita suunniteltaessa, toteutettaessa ja todennettaessa.

Ylijohtaja
Helena Säteri

Ympäristöneuvos
Ari Saarinen

1 Määritelmät

Akustisten mittalukujen yksityiskohtaiset määritelmät on esitetty SFS-, CEN-, ISO- ja IEC-standardeissa.

Avoim oppimisympäristö

Avoimella oppimisympäristöllä tarkoitetaan tässä tilaa, jossa samanaikaisesti työskentelee useita opetusryhmiä ja opettajia, joiden välillä ei ole kiinteitä lattiasta kattoon ulottuvia seiniä.

Avoim toimistotila

Suuri yhtenäinen yhteen kerrokseen sijoittuva tila, jossa on vähintään kuusi työpistettä tai jonka pinta-ala on vähintään 30 m². Työpisteet ovat yleensä erotetut toisistaan liikuteltavilla sermeillä tai kaapistoilla, joiden korkeus on huonekorkeutta pienempi.

A-painotettu äänenpainetaso (dB)

Äänitasomittarin taajuuspainotussuotimella A mitattu äänenpainetaso, joka jäljittelee kuulon herkkyyden taajuusriippuvuutta. Äänenpainetason mittaluvussa tämä on osoitettu merkintänä L_{pA} .

Absorptioala (m²)

Absorptioala on tilan ääntä absorboivien pintojen pinta-ala kerrottuna pintojen absorptiosuhteella.

Absorptiosuhde α

Pinnan absorboiman ja siihen kohdistuvan äänitehon suhde. Absorptiosuhde voi saada lukuarvon nolasta yhteen siten, että absorptiosuhde on 0 äänen heijastuessa pinnasta täysin ja 1 äänen absorboituessa pintaan täysin. Esimerkiksi katon keskimääräinen absorptiosuhde lasketaan kertomalla katon peittosuhte absorptiomateriaalin absorptiosuhteella. Jos 85 % katon alasta on pinnoitettu materiaalilla, jonka absorptiosuhde oktaavitaajuuskaistalla 250 Hz on 0.80, on katon keskimääräinen absorptiosuhde tällöin $0.85 \cdot 0.80 = 0.68$. Materiaalin absorptiosuhteen lukuarvojen tulee perustua ensisijaisesti mitattuihin lukuarvoihin. Jos

absorptiosuhteen lukuarvoja ei ole käytettävissä, tulee laskennassa käytettävät absorptiosuhteen lukuarvot erikseen perustella.

Desibeli (dB)

Äänitehotason, äänenpainetason ja ääneneristävyyteen liittyvien mittalukujen yksikkö.

Frontaaliopetus

Opetustilanne, jossa opettaja opettaa pääasiallisesti huonetilan yhdellä sivulla ja oppilaiden kalusteet on asetettu tähän suuntaan.

Hoitotila

Hoitotilalla tarkoitetaan potilaiden hoitoon käytettäviä tiloja, joissa ei kuitenkaan ole kyse potilaiden asumisesta. Esimerkiksi sairaaloiden ja terveysasemien vuodeosastojen huoneet ovat tällaisia hoitotiloja.

Häiritsevyysetäisyys r_D (dB)

Puhujan ja kuulijan välinen etäisyys, jota kauempana puheensiirtoindeksin STI- arvo on alle 0,50. Häiritsevyysetäisyys määritetään standardin ISO 3382-3 mukaan.

Ilmaääneneristys

Rakennusosan, rakennusosien muodostaman kokonaisuuden tai materiaalin kyky eristää äänilähteestä ympäristöön ilman välityksellä leviävää ääntä.

Ilmaääneneristävyys R (dB)

Ilmaääneneristävyys ilmaisee tietyllä taajuuskaistalla tilasta toiseen tai rakennusosan kautta sen toiselle puolelle siirtyneen äänitehotason, suhteessa rakennusosan kohdanneeseen äänitehotasoon.

Ilmaääni

Äänilähteestä ympäristöön ilman välityksellä leviävä ääni, kuten puhe, musiikki, äänentoistolaitteiden ääni tai erilaisten taloteknisten laitteiden aiheuttama ääni.

Jälkikaiunta-aika T (s)

Aika, jonka kuluessa äänilähteen huoneeseen tuottama äänenpainetaso äänilähteen vaiettua alenee 60 dB. Jälkikaiunta-ajat esitetään tavallisesti taajuuskaistoittain. Jälkikaiunta-ajan vaatimuksella tarkoitetaan pisintä oktaavikaistoilla 250, 500, 1 000 ja 2 000 hertsiä esiintyvää jälkikaiunta-aikaa normaalisti kalustetussa huoneessa. Jälkikaiunta-aika mitataan standardin ISO 3382-2 mukaan.

Keskiäänitaso $L_{Aeq,T}$ (dB)

A-painotetun äänenpaineen keskimääräistä tehollisarvoa määritetyllä aikavälillä T vastaava äänitaso. Keskiäänitasoon sisältyy taajuusalue 20 – 20 000 Hz.

Kokoustila

Kokoustilalla tarkoitetaan neuvottelujen, esitelmien ja vastaavien pitämiseen tarkoitettua yleensä pienehköä, enintään muutamien kymmenen henkilön tilaa. Tilassa on yleensä esitystekniikkaa, kuten suuri näyttö ja joissain tapauksissa videoneuvottelulaitteisto. Näistä tiloista käytetään myös nimitystä neuvottelutila.

Liikuntatila

Liikuntatilalla tarkoitetaan esimerkiksi erilaisia liikuntaan käytettäviä tiloja, kuten sisäliikuntahuoneita ja -halleja sekä voimistelu- ja kuntosaleja.

Melu

Melu on epätoivottua, haitallista tai tarpeetonta ääntä.

Myöhäinen heijastus

Äänilähteeltä kuulijalle saapuva huonepinnoista heijastunut äänirintama, joka saapuu vähintään 50 millisekuntia suoraan äänilähteeltä kuulijalle saapuvan äänirintaman jälkeen.

Olenainen tekninen vaatimus

Olenaisella teknisellä vaatimuksella turvataan ne ääniympäristön laadulliset ominaisuudet, joilla on vaikutusta erityisesti asumisterveyteen ja -viihtyisyyteen. Käsitettä käytetään esimerkiksi rakennustuoteasetuksessa ja vaatimuksen toteutumisen arviointiin sovellettavia lukuarvoja on esitetty mm. asumisterveysasetuksessa (545/2015) ja ohjearvopäätöksessä (VNp 993/1992).

Opetustila

Opetustilalla tarkoitetaan esimerkiksi luokkahuonetta, ryhmäopetustilaa, varhaiskasvatukseen ja esiopetukseen tarkoitettua tilaa.

Peittoääni

Peittoäänellä tarkoitetaan niitä toimiston tasaisia taustaääniä, joilla on puhetta peittävä vaikutus ja jolla voidaan saada aikaan puheenpeitto. Tästä käytetään myös nimitystä peitteäni.

Potilashuone

Potilashuoneilla tarkoitetaan hoitolaitoksissa tai hoitokodeissa olevia tiloja, jotka rinnastuvat käyttötarkoitukseltaan asuntoihin. Potilashuoneella tarkoitetaan esimerkiksi erilaisten palveluasumisyksiköiden asuinkäyttöön suunniteltua tilaa. Potilashuoneella ei tarkoiteta

sellaisia tutkimushuoneita, vastaanottohuoneita, toimenpide- ja terapiatiloja tai vastaavia tiloja, joissa ollaan lyhytaikaisesti.

Puheenerotettavuus

Puheen selvyyttä tilassa kuulijan kannalta kuvaava subjektiivinen käsite. Puheenerotettavuus on täydellinen, jos keskimäärin 100 % puhutuista sanoista kuullaan oikein.

Puheenpeitto

Puheäänen selvyiden vähenemistä tilassa kuvaava käsite. Puheenpeitto on täydellinen, jos puheenerotettavuus häviää. Puheenpeittoa toteutetaan puheenpeittojärjestelmällä, johon ei sovelleta talotekniselle järjestelmälle asetettuja äänitasovaatimuksia.

Puheensiirtoindeksi STI

Mitattavissa tai laskennallisesti arvioitavissa oleva mittaluku, joka kuvaa huonetilan puheenerotettavuutta ja ottaa huomioon tilan kaiun, taustäänitason puhetta peittävän vaikutuksen ja puheen äänenvoimakkuuden. Puheensiirtoindeksin arvo 0 tarkoittaa, että tilassa satunnaisesti luetelluista tavuista ei yhdestäkään saada selvää ja arvo 1, että jokaisesta tavusta saadaan selvää.

Päiväaika

Päiväajalla tarkoitetaan klo 7–22 välistä aikaa.

Ruokailutila

Ruokailutilalla tarkoitetaan kaikenlaisia ruokailuun käytettäviä tiloja.

Stressi

Stressi on tila tai tilanne, missä ihmiseen kohdistuu niin paljon haasteita ja vaatimuksia (työtehtävä ja samanaikainen melu), että sopeutumiseen käytettävissä olevat voimavarat ovat tiukoilla tai ylittyvät.

Taajuus (Hz)

Taajuus vastaa kuultavan äänen korkeutta. Äänen taajuus riippuu ilmamolekyylien värähtelyn nopeudesta ja sitä mitataan värähtelysykliä määränä sekunnissa eli hertseinä (Hz). Ihmisen kuulon kannalta keskeinen taajuusväli on 20 – 20 000 Hz. Taajuutta tarkastellaan usein taajuuskaistoina.

Taajuuskaista

Tarkasteltava äänen taajuusjakauma voidaan jakaa pienempiin osiin eli taajuuskaistoihin. Tavallisesti käytetään oktaavikaistoja ja kolmannesoktaavikaistoja. Kun äänen korkeus kasvaa oktaavin, sen taajuus kaksinkertaistuu. Taloteknisten laitteiden äänitehotaso sekä rakennusmateriaalien absorptiosuhteet ja tilan jälkikaiunta-aika ilmoitetaan tavallisesti

oktaavikaistoittain. Kolmannesoktaavikaistoittain ilmoitetaan ilmaääneneristävyys, standardisoitu äänitasoero ja standardisoitu askeläänitaso.

Toimistotila

Toimistotilalla tarkoitetaan erilaisia työskentelyyn käytettäviä toimistotiloja, kuten toimistohuonetta ja avoimia toimistotiloja.

Varhainen heijastus

Äänilähteeltä kuulijalle saapuva huonepinnoista heijastunut äänirintama, joka saapuu korkeintaan 50 millisekuntia suoraan äänilähteeltä kuulijalle saapuvan äänirintaman jälkeen.

Varhainen jälkikaiunta-aika EDT (s)

Varhainen jälkikaiunta-aika on kaiuntakäyrän alkupään perusteella arvioitu jälkikaiunta-aika (Early Decay Time). Suure huomioi paremmin varhaisten ääniheijastusten määrän kuin jälkikaiunta-aika, joka ottaa huomioon sekä varhaisia että myöhäisiä heijastuksia.

Äänenpainetaso L_p (dB)

Äänenpainetaso on äänenvoimakkuutta kuvaava suure ja se määritetään kertomalla tehollisen äänenpaineen ja vertailuäänepaineen (20 mikropascalia) suhteen kymmenkantainen logaritmi kahdellakymmenellä.

Äänitaso L_A (dB)

A-painotettu äänenpainetaso tarkasteltavalla taajuuskaistalla. Puheääni ja puheen taajuuskaistan kannalta merkitsevä taustamelu rajoittuu taajuusalueelle 125-8000 Hz.

Ääni

Kimmoisassa väliaineessa vallitseva painevaihtelu, jonka taajuus ja äänenpainetaso ovat kuuloalueella. Ääni syntyy tavallisesti pinnan värähtelystä, joka aiheuttaa painevaihtelun ilmaan. Ääni etenee väliaineessa ääniaaltoina ja sitä voidaan kuvata äänenpaineen tai äänitehon avulla.

Ääniolosuhde

Tilan akustinen ominaisuus, kuten jälkikaiunta-aika, taustamelu tai puheenerotettavuus.

Äänitehotaso L_w (dB)

Äänitehotaso on äänilähteen säteilemän hetkellisen äänienergian mitta aikayksikössä.

2 Johdanto

Rakennuksen ääniolosuhteilla tarkoitetaan niitä sisä- tai ulkotilan akustisia olosuhteita, jotka vaikuttavat muun muassa puheen erotettavuuteen tai häiritsevyyteen, puhujan äänenkäyttöön ja tilan kaiuntaisuuteen ja jotka on tärkeää ottaa huomioon tilan käyttötarkoituksen mukaisella tavalla. Tilan hyvät ääniolosuhteet mahdollistavat niiden tarkoituksenmukaisen käytön liittyen esimerkiksi oppimiseen ja vuorovaikutukseen, työskentelyyn, toipumiseen sairaudesta, lepoon ja kokemukseen ympäristön miellyttävyydestä.

Rakennuksen sisätilan ääniolosuhteet eivät riipu yksin tilan huoneakustiikasta. Rakennuksen teknisten järjestelmien ääni, viereisistä tiloista tai ulkoa siirtyvä ääni voi peittää kuunneltavaa puheääntä. Siten puhe- ja muita tiloja on suunniteltava kokonaisuutena; rakenteiden ilma- ja askelääneneristykseen tulee olla tarkoituksenmukaiset ja rakennusten teknisten järjestelmien aiheuttaman äänitason tulee olla riittävän pieni. Tämä ohje käsittelee tilan ääniolosuhteiden suunnittelua ja toteuttamista huoneakustiikan osalta.

Ääniolosuhteiden suunnittelun tarkoituksena on hallita äänen etenemistä, heijastumista ja vaimenemista käyttötarkoitukseltaan erilaisissa tiloissa. Akustisesti hyvin suunnitellussa esitys- tai koulutustilassa esiintyjän on helppo puhua ääntään rasittamatta niin, että kuulija saa puheesta selvän. Ääniolosuhteilla on siten vaikutusta sekä kommunikaatioon että puhetta työssään käyttävien henkilöiden terveyteen. Ääniolosuhteet vaikuttavat myös työtehoon esimerkiksi avoimissa toimistotiloissa [1,2].

Maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999, jäljempänä MRL) 117 f §:n mukaan ”rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus ja sen oleskelu- ja piha-alueet niiden käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan siten, että rakennuksen sekä rakennuspaikan piha- ja oleskelualueiden meluallistus ja ääniolosuhteet eivät vaaranna terveyttä, lepoa tai työntekoa [3].”

Ympäristöministeriön asetuksen rakennuksen ääniympäristöstä (796/2017, jäljempänä ääniympäristöasetus) mukaan ”rakennuksen, jossa on potilashuoneita, opetus-, kokous-, ruokailu-, hoito-, harrastus-, liikunta- tai toimistotiloja, ääniolosuhteet on suunniteltava ja

toteutettava siten, että tilassa saavutetaan sen käyttötarkoitus huomioon ottaen riittävä puheenerotettavuus [4].”

Hyvät ääniolosuhteet riippuvat sekä rakennuksen ominaisuuksista että käyttäjästä. Eri käyttäjät voivat tuottaa tiloihin erilaisia ääniolosuhteita johtuen toiminnan luonteesta ja yksilöiden käyttäytymisestä. Lisäksi käyttäjillä voi olla erilaisia kalusteita tilassa. Tässä ohjeessa annetaan ohjeita siitä, miten tilan huoneakustiikka tulisi toteuttaa, jotta sen ääniympäristö olisi mahdollisimman hyvä. Samassa tilassa voi työskennellä erilaisia toimijoita rakennuksen elinkaaren aikana ja käyttäjän aiheuttama äänitaso voi vaihdella eri ajankohtina. Ohje ei tarkastele tilan käyttäjän toiminnasta aiheutuvaa ääntä.

3 Tausta

3.1 Toimistotilat

3.1.1 Toimitilojen kehittyminen

Informaatio- ja kommunikaatioteknologian kehittymisen myötä toimistoympäristö on muuttunut. Suuret verkkolevytilat ja verkkoyhteydet ovat vähentäneet työpistekohtaisten paperiarkistojen määrää. Suurikokoiset litteät näytöt ovat vähentäneet pöytätilan tarvetta. Kannettavat työasemat ja langattomat verkkoyhteydet mahdollistavat tilapäisen työskentelyn myös muualla kuin toimistossa. Nämä tekijät yhdessä ovat tehneet pienikokoiset työpisteet mahdolliseksi. Nykyaikainen työpiste koostuu usein vain 120...160 cm leveästä pöydästä, jolloin työpiste voidaan mahduttaa kulkuväylineen alle 5 m² kokoiseen tilaan. Tavallisesti avotoimistossa on keskimäärin yksi työpiste noin 10 m² kohti, kun tekniset tilat ja yhteiset tilat jätetään ottamatta huomioon.

Organisaatiomuutokset, projektimuotoinen työskentely ja työn sisällön kehittyminen edellyttävät toimiston pohjaratkaisulta ja rakenteilta joustavuutta. Työtiloja tulisi voida muokata helposti ja lisäksi työpisteitä tulisi voida helposti vaihtaa. Monet toimitiloja omistavat yritykset suosivat avoimia toimistotiloja joissa on kohtuullisesti kiinteitä seiniä, koska avonaisia tiloja on helpompi muokata vuokralaisten tarpeita vastaaviksi. Yhä useampi käyttäjäorganisaatio valitsee toimitilastrategian, jossa kaikilla ei ole kiinteää työpistettä. Työpiste valitaan kulloisenkin työtehtävän vuorovaikutus- ja keskittymisvaatimusten tai oman mieltymyksen mukaan avoimesta toimistotilasta, yhden hengen huoneesta, kiinteärakenteisesta tai liikuteltavasta vetäytymistilasta, pienneuvotteluhuoneesta, parityöhuoneesta, hiljaisen työn avotilasta tai vuorovaikutteisen työn avotilasta [5].

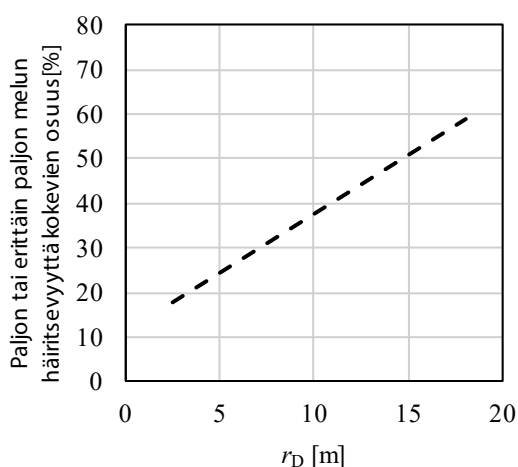
Kun saman tilan työpisteiden määrä kasvaa, toiminnasta syntyvän äänen häiritsevyyden riski lähtökohtaisesti lisääntyy. Toisaalta työpiste voidaan yhä useammassa toimitilassa valita työn vaatimusten mukaan, jolloin meluongelmalta voidaan aiempaa helpommin välttyä tilojen järkevällä käytöllä.

3.1.2 Toimistotilan ääniolosuhteiden kokeminen

Toimistotilojen ääniolosuhteiden tutkiminen aloitettiin avoimien toimitilojen ja niissä havaittujen meluongelmien yleistyessä. Tutkimuksista on tehty seuraavia havaintoja:

- Keskeisiä syitä työympäristötyytymättömyyteen ovat melun häiritsevyys ja puheyksityisyyden puute eli kokemus siitä, että luottamukselliset keskustelut kantautuvat muiden kuin asianosaisten korviin [6,7,8,9,10].
- Keskeisin melun lähde on työtoverien puheäänet, eikä esimerkiksi ilmanvaihdon tai rakennuksen ulkopuolinen melu [7].
- Melun häiritsevyys on yleensä suurempi avoimissa toimistoympäristöissä kuin yhden työpisteen toimistohuoneissa [7,8].
- Melun häiritsevyyttä voidaan vähentää ja samalla puheyksityisyyttä lisätä tarkoituksenmukaisesti toteutettujen peruskorjausten ja sisustusmuutosten yhteydessä [11,12,9].
- Äänen häiritsevyys voi olla pienempi, jos vetäytymishuoneita on paljon [10].
- Melun häiritsevyys on keskimäärin pienempi, jos STI-arvo on pienempi eli puheen häiritsevyysetäisyys lyhempi (Kuva 1) [13].

Melun paljon tai erittäin häiritseväksi kokevien osuus on keskimäärin suurempi, jos puheäänten häiritsevyysetäisyys, r_D on pienempi. Kyselytutkimus on toteutettu 21 toimistossa, jossa kysyttiin kokemuksia toimistomelun häiritsevyydestä asteikolla 1–5 (1 Ei lainkaan, 2 Vain vähän, 3 Jonkin verran, 4 Paljon, 5 Erittäin paljon). Vastaajia oli 883. Kussakin toimistossa mitattiin myös häiritsevyysetäisyys r_D . Havaintojen yli sovitettiin kuvan suora (r^2 on 0.29) [13].



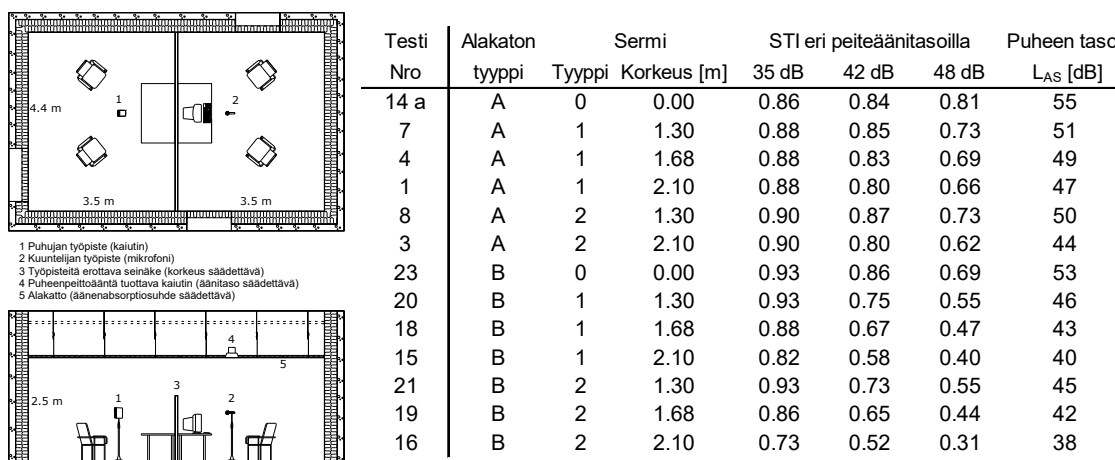
Kuva 1. Häiritsevyysetäisyyden vaikutus melun häiritsevyyteen

3.1.3 Avotoimiston ääniolosuhteet

Avotoimistojen huoneakustiikan tulisi olla sellainen, että

- keskustelu on normaaleilla keskusteluetaisyyksillä (alle 2 metriä) vaivatonta ja puheen erotettavuus on korkea;
- yli 5 metrin päästä kantautuvien puheäänten erotettavuus on niin pieni, ettei puhe häiritse työhön keskittymistä.

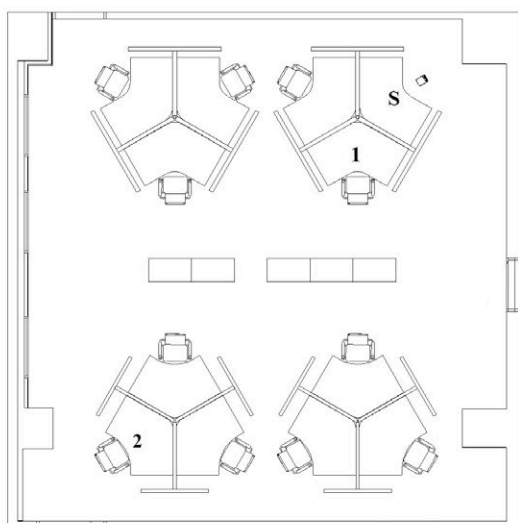
Laboratorioympäristössä on tutkittu, miten avotoimiston huoneakustiikan keskeiset tekijät, kuten absorptiomateriaalin määrä, seinäkorkeus ja peittoäänien äänitaso vaikuttavat puheen äänitasoon ja STI-arvoon kahden vierekkäisen työpisteen välillä [14]. Kuvassa 2 on esitetty STI-arvo ja puheen äänitaso huoneen ääniolosuhteisiin vaikuttavilla tilayhdistelmillä. Taulukkoon on koottu keskeisimpien mittaustilanteiden tulokset. Standardisoitua puheääntä tuotettiin vasemmanpuoleisesta työpisteestä (1) ja puheen STI ja puheen A-painotettu äänitaso L_{AS} mitattiin viereisessä työpisteessä (2). STI-arvoon voidaan voimakaimmin vaikuttaa peittoäänien tasolla. Peittoäänitaso 35 dB L_{Aeq} vastaa ilmanvaihdon äänitasovaatimusta 33 dB L_{Aeq} ja tilannetta, jossa erillistä peittoäänijärjestelmää ei ole. Tässä tilanteessa alin saavutettu STI-arvo on 0,73. Peittoäänitaso 42 dB L_{Aeq} vastaa ns. suositeltavaa peittoäänien tasoa, kun peittoäänijärjestelmä on käytössä. Tässä tilanteessa alin saavutettu STI-arvo on 0,52. Suurimmalla peittoäänitasolla 48 dB alin STI-arvo on 0.31. Näin suuria peittoäänien tasoja on käytetty esim. Yhdysvalloissa [15]. Peittoäänien tason ylittäessä 45 dB alkaa keskustelu vaikeutua ja puheäänien korottamisen tarve yleistyy. Siksi 45 dB voimakkaampien peittoäänien käyttö ei ole suositeltavaa. STI-arvoon 0.50 päästään lähimmässä työpisteessä käyttämällä yhtä aikaa peittoääntä, sermejä ja voimakkaasti ääntä absorboivaa kattoa, jos huoneen seinät eivät heijasta ääntä.



Kuva 2. Avotoimiston huoneakustiikan vaikuttavia tekijöitä. A Rei'ittämätön rakennuslevy, B 40 mm mineraalivilla, 0 Ei sermiä, 1 Kovapintainen sermi, 2 Ääntä absorboiva sermi.

Huoneakustiset tekijät vaikuttavat puheen äänitasoon tai STI-arvoon myös edellä tarkasteltua etäisyyttä kauempana äänilähteestä. Seinäheijastuksilla on lisäksi suuri merkitys äänen leviämiseen etenkin, jos avotoimisto on kapea, seinät kovia ja katto on voimakkaasti ääntä absorboiva.

Huoneakustiikan tekijöiden vaikutusta jälkikaiunta-aikaan, puheen äänitasoon ja puheensiirtoindeksiin eri etäisyyksillä puhujasta on tutkittu myös täysimittaisessa avotoimistolaboratoriossa, jossa on 12 työpistettä ja olosuhteet on toteutettu kaupallisilla ratkaisulla (Kuva 3) [16,17]. Puheääni tuotetaan yhdestä työpisteestä 1.2 m korkeudella (S). STI ja puheen taso mitataan 2 eri linjalle sijoittuvissa työpisteissä 1 ja 2 1.2 m korkeudella. Kuvan 3 taulukkoon on koottu keskeisimpien mittaustilanteiden tulokset. Lähimmässä työpisteessä peittoäänen tasolla 43 dB ei päästä STI-arvoa 0,50 pienempiin arvoihin. Kaukaisimassa työpisteessä (etäisyys 8,5 m) päästään ilman sermejä STI-arvoon 0,47, tavanomaisella seinäkekorkeudella (1,3 m) arvoon 0,31 ja korkeimmilla sermeillä (2,1 m) arvoon 0,12. Huoneakustisten valintojen merkitys kasvaa, kun etäisyys puhujaan kasvaa.



Akustiset tilanteet luotiin muuttamalla sermikorkeutta, äänenabsorptiota katossa, seinillä ja sermeissä sekä peiteään tasoa.

Kattoabsorption arvot:

- 0: Katto on kokonaan ääntä heijastava
- 1: 80 % katosta on absorboivaa (alaslaskettu mineraalivilla*)

Seinäabsorption arvot:

- 0: Seinät ovat ääntä heijastavia
- 1: 20 % seinäpinta-alasta on absorboivaa (taustaan liimattu mineraalivilla*)

Sermiabsorption arvot:

- 0: Sermit ovat ääntä heijastavia
- 1: Sermit ovat absorboivia (EN 11654 luokka B)

Peiteään A-painotettu äänitaso L_{AP} :

- 37 dB: peiteään taso on melko alhainen
- 43 dB: peiteään taso on riittävän korkea

* ISO 11654 äänenabsorptioluokka A

AKUSTISEN TILANTEEN KUVAUS					AKUSTISET MITTAUSTULOKSET					
Katto- absorptio	Seinä- absorptio	Sermi- absorptio	Sermikorko [cm]	L_{AP} [dB]	STI_1	STI_2	T [s]	r_D [m]	D_{2S} [dB]	L_1 [dB]
0	0	0	0	37	0.66	0.58	1.19	12.4	1.4	61.0
0	0	0	0	43	0.62	0.53	1.19	8.5	1.4	61.0
1	1	0	0	37	0.86	0.63	0.32	15.1	4.1	58.0
1	1	0	0	43	0.78	0.47	0.32	8.7	4.1	58.0
0	0	0	1.3	37	0.74	0.63	0.64	48.8	2.3	59.9
0	0	0	1.3	43	0.69	0.55	0.64	13.7	2.3	59.9
1	1	0	1.3	37	0.81	0.47	0.26	9.9	5.9	54.2
1	1	0	1.3	43	0.67	0.29	0.26	5.1	5.9	54.2
1	1	1	1.3	37	0.83	0.49	0.23	9.4	7.3	55.2
1	1	1	1.3	43	0.69	0.31	0.23	5.0	7.3	55.2
1	1	1	2.1	37	0.77	0.27	0.21	5.8	7.8	53.6
1	1	1	2.1	43	0.62	0.12	0.21	3.5	7.8	53.6

Akustiset mittaluvut:

- STI_1 Puheensiirtoindeksi työpisteessä 1, etäisyys kaiuttimeen S on 2.1 metriä.
- STI_2 Puheensiirtoindeksi työpisteessä 2, etäisyys kaiuttimeen S on 8.5 metriä.
- T Jälkikaiunta-ajan keskiarvo taajuuskaistoilla 250-4000 Hz.
- r_D Häiritsevyysetäisyys ISO 3382-3 mukaan.
- D_{2S} Leviämisvaimennusaste ISO 3382-3 mukaan.
- L_1 Puheen A-painotettu äänenpainetaso työpisteessä 1, etäisyys kaiuttimeen S on 2.1 metriä.

Kuva 3. Huoneakustiikan tekijöiden vaikutus täysimittaisessa avotoimistolaboratoriossa.

Huoneakustiikkaa on mitattu erilaisissa avoimissa toimistotiloissa [18,12,19,9,20]. Mittaustulokset ja kuvaus huoneakustisista ratkaisuista on esitetty Taulukossa 1. Mittaukset on tehty kalustetussa huoneessa lukuun ottamatta mittausta No 2.

Taulukko 1. Standardin ISO 3382-3 mukaisia huoneakustiikan mittaustuloksia avotoimistoista.

No	Avotoimiston kuvaus						Huoneakustiset mittaustulokset					Lähde
	Pinta-ala [m ²]	Huonekor- keus [m]	Sermikor- keus [m]	α_{katto}	Tekstiili- matto	Abs. sermi	D ₂₅ [dB]	L _{A,S,4m} [dB]	L _{A,B} [dB]	T ₂₀ [s]	r _D [m]	
1	269	3,1	1,3	0,5	Ei	Ei	4,0	53,8	39	0,46	14,2	[18]
2	184	2,9	0,0	0,5	Ei	Ei	4,2	57,2	45*	0,87	18,5	[18]
3	96	3,2	1,3	0,8	Ei	Ei	4,6	52,5	42*	0,48	9,5	[18]
4	658	4,5	1,7	0,3	Ei	Ei	5,7	49,4	41	0,76	5,6	[18]
5	215	3,3	1,4	0,7	Ei	Ei	6,0	50,9	35	0,32	15,4	[18]
6	196	5,9	2,1	0,2	Ei	Ei	6,2	52,6	44	1,15	5,4	[18]
7	179	3,3	1,3	0,5	Ei	Ei	6,3	47,5	31	0,53	13,8	[18]
8	137	2,7	1,3	0,7	Ei	Ei	6,4	52,4	39	0,44	10,3	[18]
9	488	2,5	1,2	0,1	Kyllä	Ei	6,7	54,4	40	0,77	15,3	[18]
10	559	3,3	1,5	0,8	Ei	Ei	9,0	43,4	39	0,57	5,5	[18]
11	188	3,3	1,7	0,8	Ei	Ei	9,2	48,3	35	0,41	9,9	[18]
12	1461	3,0	1,3	0,6	Kyllä	Ei	9,4	49,4	37	0,46	9,3	[18]
13	218	3,0	1,6	0,8	Ei	Ei	11,4	46,5	31	0,46	9,5	[18]
14	147	3,3	2,2	0,8	Ei	Ei	11,5	47,1	31	0,58	6,2	[18]
15	988	2,6	1,6	0,7	Ei	Ei	11,7	49,0	31	0,53	8,1	[18]
16	203	2,6	1,7	0,8	Ei	Kyllä	12,4	49,9	33	0,37	10,0	[18]
17	239	4,3	1,2	0,3	Ei	Ei	4,9	47,4	34	0,57	16,2	[19]
18	943	4,0	1,2	0,3	Ei	Ei	6,0	49,1	32	0,65	15,3	[19]
19	1218	5,1	1,3	0,8	Ei	Ei	6,4	44,0	29	0,50	11,4	[19]
20	113	4,0	1,7	0,4	Ei	Ei	6,4	50,4	38	0,56	11,9	[19]
21	403	2,5	1,3	0,9	Ei	Ei	7,8	47,9	34	0,41	8,8	[19]
22	269	3,1	1,3	0,7	Ei	Ei	8,2	51,5	35	0,32	11,1	[19]
23	218	2,9	1,3	0,5	Ei	Ei	9,3	50,3	32	0,33	14,0	[19]
24	195	2,9	1,3	0,8	Ei	Kyllä	9,4	50,3	38	0,42	6,0	[19]
25	208	2,7	1,5	0,8	Ei	Ei	9,0	53,9	38	0,38	9,7	[19]
26	384	2,9	1,7	0,8	Ei	Ei	11,6	49,3	39	0,37	9,3	[19]
27	300	2,5	1,3	0,5	Ei	Ei	7,0	n.a.	35	-	6,5	[12]
28	300	2,5	1,3	0,8	Ei	Ei	9,0	n.a.	42*	-	4,0	[12]
29	320	2,5	1,5	0,9	Ei	Kyllä	8,7	41,0	40	-	3,9	[9]
30	160	2,4	1,25	0,8	Kyllä	Ei	7,0	45,3	45*	-	4,0	[20]

* Tilassa oli kaiutinpohjainen peiteäänijärjestelmä.

Lyhimmillään puheen häiritsevyysetaisyys r_D on alle 5 metriä, jolloin yksittäinen puhuja häiritsee 5 metriä lähempänä olevia työntekijöitä (78 m² kokoinen alue). Pisimmillään häiritsevyysetaisyys r_D on yli 15 metriä, jolloin yksittäinen puhuja häiritsee 15 metriä lähempänä olevia työntekijöitä (706 m² kokoinen alue). Jälkimmäisessä tilanteessa puhe häiritsee kymmenkertaista määrää toimistotyöntekijöitä ensimmäiseen tilanteeseen nähden. Pienin häiritsevyysetaisyys 4,0 metriä saavutetaan, kun lähes kaikki mahdolliset huoneakustiset keinot toteutetaan.

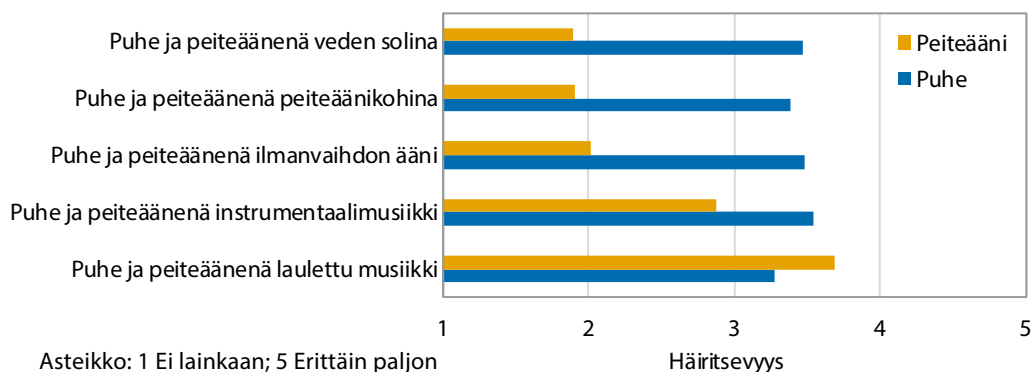
STI-arvon 0,50 alittuminen on tarkoituksenmukaista, kun mittausetaisyys äänilähteeseen on kalustetussa huoneessa 5 metriä tai tätä suurempi. Ääniolosuhteita voidaan parantaa käyttämällä korkeita sermejä ja ääntä absorboivia sermejä.

3.1.4 Toimistomelun vaikutukset

Toimistomelun, kuten puheäänten ja peittoäänien, häiritsevyyden vaikutuksia ihmiseen on tutkittu laboratorioympäristöissä. Toimistomelun vaikutuksista keskeisiä ovat

- puheäänen häiritsevyys,
- keskittymisvaikeudet,
- stressin kasvu ja
- tyotehokkuuden lasku.

Puheäänen häiritsevyys on muuhun meluun verrattuna suuri, kun henkilö suorittaa keskittymistä vaativaa tehtävää. Puheäänten ja samanaikaisten peittoäänten häiritsevyyden kokemista on tutkittu laboratoriossa. Puheen ja peittoäänen keskiäänitaso L_{Aeq} on 45 dB ja niillä on sama taajuusjakauma (Kuva 4) [21].



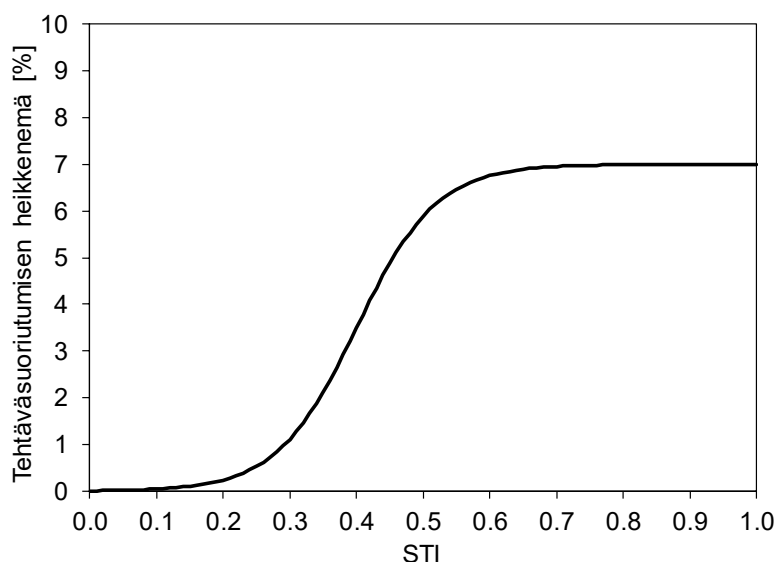
Kuva 4. Puheäänen ja puheen päälle soitetun peiteäänen häiritsevyys.

Peittoäännet häiritsevät vähemmän, jos ne eivät sisällä musiikkia. Tällaisia ovat veden solina, ilmanvaihdon ääni ja satunnaiskohina. Satunnaiskohinaa käytetään kaupallisissa puheen-peittoäänijärjestelmissä. Kun peittoääni on musiikkia, häiritsevyys kasvaa. Kun peittoääni on laulettua musiikkia, häiritsevyys on suurempi kuin puheäänen, jota peittoäänien on tarkoitus peittää. Instrumentaalimusiikin häiritsevyys on hieman laulettua musiikkia pienempi. Peittoäänien ei tulisi sisältää merkittävästi informaatiota (kuten musiikkia) tai ainakaan puheääniä, jotta peittoääni ei lisäisi häiritsevyyttä. Vähiten häiritsevyyttä aiheuttavat tasaiset peittoäännet.

Häiritsevän puheäänen vaikutuksia fysiologisesti mitattavaan stressiin on tutkittu vähän. Ryhmässä A, joka altistettiin 65 dB:n puheen keskiäänitasolle, stressihormonipitoisuus veriplasmassa on suurempi, työteho on alhaisempi, työn kuormittavuus ja äänen häiritsevyys suurempaa kuin ryhmässä B, missä työskentelytilan keskiäänitaso on 35 dB [22]. Lisäksi sykeväliillä mitattava stressi kasvaa ajan myötä ryhmässä A. Stressihormonien erityös on suurempi niillä koehenkilöillä, jotka altistuvat 55 dB:n toimistomelulle, kuin niillä, jotka altistuvat 40 dB:n toimistomelulle [23]. Toimistojen tyypillinen keskiäänitaso L_{Aeq} on 50–55 dB, joten stressihormonien kasvu voi koskea myös toimistotyöpaikkoja. Pitkäaikainen meluallistus ja tästä aiheutuva pysyvä stressitila voi johtaa myös vakavampiin terveysvaikutuksiin [24].

Puheääni on voimakkaimmin työtehoa pienentävä äänilaji [1]. Puheäänet hidastavat muistin toimintaa ja laskevat suoriutumiskykyä muistia vaativissa tehtävissä. Työmuisti prosessoi erottuvaa puheääntä ja siinä olevia sanoja merkityksineen automaattisesti ja tahdosta riippumatta. Puheäänet häiritsevät työmuistissa käynnissä olevia verbaalisia prosesseja ja voivat viedä ajoittain huomion kokonaan muilta tehtäviltä puheäänen sisällöllisen merkityksen ylittäessä huomiokynnyksen, jolloin työteho romahtaa tilapäisesti kokonaan.

Tarpeettomat puheäänet heikentävät kognitiivisesti vaativan työtehtävän tehokkuutta [1]. Työteho alkaa laskea muissa kuin rutiinitehtävissä, kun STI ylittää arvon 0,20 ja työtehon lasku kyllästyy, kun STI ylittää arvon 0,60 (Kuva 5). Päivitetty selvitys vahvistaa tämän [26].



Kuva 5. Hypoteettinen malli, jonka mukaan tehtävistä suoriutuminen vaikeutuu, kun puheensiirtaindeksi STI kasvaa.

Tilan ääniolosuhteilla on seuraavia vaikutuksia työtehoon:

- Huoneakustiikan parantaminen STI-arvoa pienentämällä vähentää melun negatiivisia vaikutuksia työtehoon, jos kuulija on yli 5 m päässä puhujasta eli häiritsevyysetäisyyden ulkopuolella. Vastaavia vaikutuksia ei ole tätä lähimmissä työpisteissä, koska huoneakustisilla toimenpiteillä on eniten merkitystä vasta tätä suuremmilla etäisyyksillä [27].
- Toimistomelu heikentää suoriutumista työmuistia kuormittavista tehtävistä kuten oikoluku, luetun ymmärtäminen, luovuus ja sana- sekä numeromuisti. Rutiinitehtäviin puhemelulla ei ole vaikutusta [28,29,21,27,30].

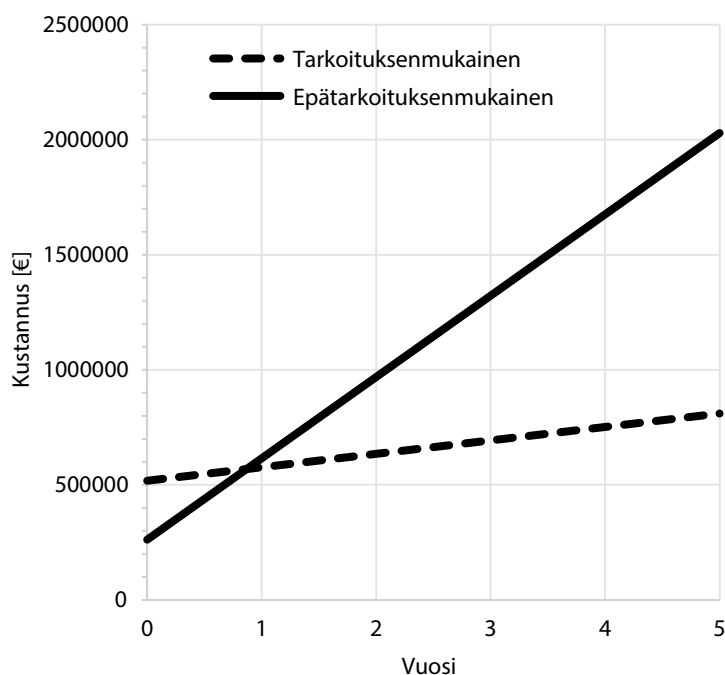
- Toimistomelun työvaikutukset eivät rajaudu vain tiettyihin persoonallisuuspiirteisiin, kuten meluherkkyys tai sisäänpäin suuntautuneisuus (introversio) [29].

Toimistotilat tulisi suunnitella siten, ettei puutteellinen huoneakustiikka aiheuttaisi

- työtehokkuuden laskua,
- puheäänestä johtuvaa häiritsevyyden nousua ja
- kohonnutta stressiä.

Tähän päästään pyrkimällä tilan suunnittelussa ja toteutuksessa mahdollisimman pieneen STI-arvoon. Tämän lisäksi tilan käyttäjien tulisi edistää käyttäytymismalleja ja tilojen käytötapoja, joilla äänitaso pysyy pienenä.

Avotoimiston epätarkoituksenmukaisista ääniolosuhteista johtuva työajan hukka voidaan muuntaa kustannuksiksi ja akustisten ratkaisujen rakennuskustannukset voidaan määrittää. Vertailua on tehty 170 työpisteen avotoimistossa [2]. Rakennuskustannukset määritettiin akustisille ratkaisuille, jotka vastaavat aiempia rakentamismääräyksiä sekä ratkaisuille, joiden voidaan katsoa olevan akustisesti tarkoituksenmukaisia. Työajan hukka määritettiin aiemmin kuvatulla tavalla puheensiirtaindeksin STI avulla [1]. Puheensiirtaindeksin jakauma laskettiin huoneakustisella tietokonemallinnuksella. Työajan hukkaa laskettaessa oletuksena on, että jossain paikassa avotoimistoa yksi työntekijä puhuu koko ajan. Työajasta 90 % oletettiin laskutettavaksi ja työajan myyntihinnaksi asetettiin 60 €/h. Kuvassa 6 on esitetty rakennuskustannusten ero sekä työajan hukasta seuraava kustannusten kasvu viiden vuoden aikana. Lähtötilanteessa, otettaessa tila käyttöön, huoneakustiikasta johtuvat rakennuskustannukset ovat akustisesti tarkoituksenmukaisessa avotoimistossa kaksinkertaiset epätarkoituksenmukaiseen verrattuna. Työajanhukasta syntyvien kustannusten vuoksi kokonaiskustannukset ovat akustisesti epätarkoituksenmukaisessa toimistossa viiden vuoden jälkeen 1,2 M€ suuremmat kuin akustisesti tarkoituksenmukaisessa toimistossa. Akustisesti tarkoituksenmukainen avotoimisto on ajan myötä selvästi kustannustehokkaampi. Lisäksi työympäristö on ääniolosuhteiltaan terveellisempi ja viihtyisämpi.



Kuva 6. Ääniolosuhteista syntyvä kustannuskertymä avotoimistossa viiden vuoden aikana, kun huoneakustiikka on tilan käytön kannalta tarkoituksenmukainen tai epätarkoituksenmukainen.

3.2 Avoimet oppimisympäristöt

3.2.1 Avointen oppimisympäristöjen kehittyminen

Uusien opetussuunnitelmien myötä avoimet oppimisympäristöt ovat Suomessa yleistymässä oppilaitosten uudis- ja korjausrakentamishankkeissa. Avointen oppimisympäristöjen rakentamista on kokeiltu aiemmin 1970-luvulla peruskouluun siirryttäessä [31]. Ulkomailla avoimia oppimisympäristöjä on rakennettu 1960-luvulta lähtien ja niiden teoreettinen tausta juontaa joitakin vuosikymmeniä kauemmas [32,33].

1960-luvulta lähtien avoimiin oppimisympäristöihin alettiin kohdistaa kritiikkiä, jonka yhtenä pääsyynä oli puutteellinen akustiikka. Vaikka opetusmenetelmät olivat muuttuneet, akustiikka oli suunniteltu luokahuoneita vastaavaksi. Suurin akustinen ongelma oli äänen leviäminen esteettä koko tilaan, mikä johtui ääntä absorboivien pintojen liian pienestä määrästä sekä äänen kulkua rajaavien tilanjakajien puuttumisesta [34,35,36,37,38,39,40]. Esteettä tilassa leviävä ääni häiritsi keskittymistä edellyttävää koulutyötä. Tilanjakajien puute aiheutti myös visuaalista häiritsevyyttä, kun kaikki liike tilassa oli nähtävissä [32]. Häiritsevyyden lisäksi äänitasot olivat koulupäivän aikana suuria [36].

Avoimiin oppimisympäristöihin kohdistunutta kritiikkiä raportoitiin 1970- ja 1980-luvuilla Ruotsista, Iso-Britanniasta, Yhdysvalloista, Kanadasta ja Uudesta-Seelannista, ja avoimia oppimisympäristöjä muutettiin uudelleen luokahuoneiksi [42]. Viime vuosikymmeninä niitä on alettu jälleen rakentaa. Myös avointen oppimisympäristöjen akustiikkaan on kiinnitetty huomiota, ja suunnitteluun on annettu ohjeita [43,44].

3.2.2 Avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteet

Avoimessa oppimisympäristössä sovelletaan uudenlaisia opetusmenetelmiä, joissa perinteinen frontaaliopetus ei ole opetuskeinojen keskiössä. Tiloissa käytettävien tilanjakajien vaikutus äänen vaimenemiseen on pienempi kuin väliseinien. Kun avointa oppimisympäristöä käytetään frontaaliopetukseen, eri opetusryhmät ja opettajan puhe häiritsevät seuraavaa opetusryhmää [45]. Avoimen oppimisympäristön ääniolosuhteet riippuvat akustiikan lisäksi myös siitä, millä tavoin tilaa käytetään.

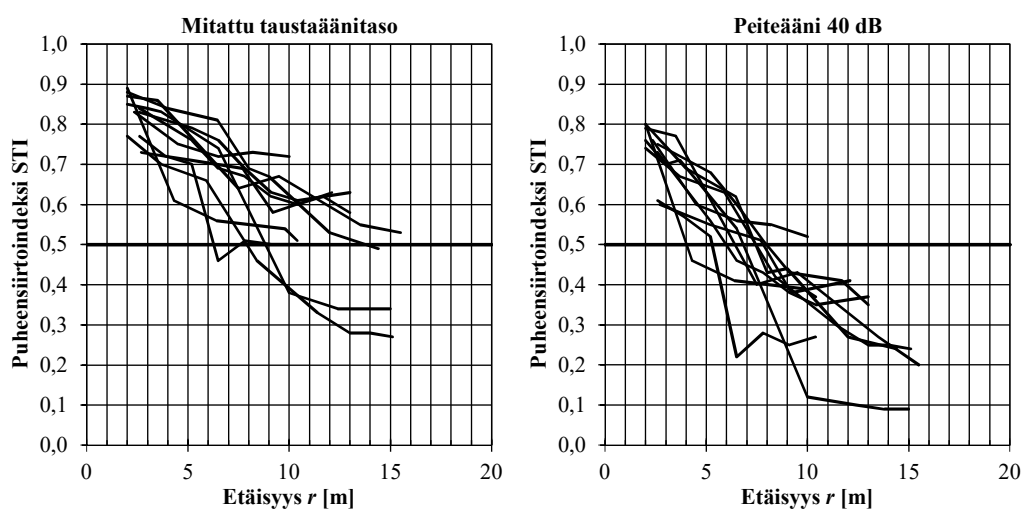
Avoimia oppimisympäristöjä on tutkittu erityisesti toiminnasta aiheutuvan äänitason sekä äänen koetun häiritsevyyden kannalta. Suurimmat äänitasot näissä tiloissa tuottavat koululaiset itse. Mitä pienemmistä koululaisista on kysymys, sitä suurempia äänitasot ovat. Ryhmätöiden ja liikkumista vaativien tehtävien aikana keskiäänitaso $L_{A,eq}$ voi olla 53–57 dB ja opettajan puhuessa opetusryhmälleen 47 dB [46]. Pienimmät lapset kokevat melun muita häiritsevämpänä johtuen kuulon kehittymisestä [41]. Kuuloaisti kehittyy aikuisen tasolle noin 15 vuoden iässä [41].

Melun vaikutuksia koulutyöhön on selvitetty kyselytutkimuksella. Oppilaat kokevat häiritsevimmäksi melun lähteeksi oppilaat muissa opetusryhmissä, toiseksi häiritsevimmäksi ulkona olevat oppilaat ja kolmanneksi muiden opetusryhmien opettajat. Oppilaat kuullivat opettajansa parhaiten, kun muut opetusryhmät olivat hiljaa ja heikoiten, kun muut opetusryhmät työskentelivät ja liikkuivat. Opettajat kokivat häiritsevimmäksi toisten opetusryhmien opettajat ja seuraavaksi häiritsevimmäksi muiden opetusryhmien oppilaat. Kommunikaation kannalta opettajat kokivat helpoimmaksi keskustelun oppilaan kanssa kahden kesken ja vaikeimmaksi keskustelun koko opetusryhmän kanssa [41,32].

Merkittävin koulutyötä vaikeuttava tekijä avoimessa oppimisympäristössä on keskittymistä häiritsevä puhe, jonka tuottaa joko toisen opetusryhmän opettaja tai muut oppilaat. Avoimet oppimisympäristöt ovat ääniolosuhteiltaan tältä osin lähellä avoimia toimistotyöympäristöjä.

Suomessa avointen oppimisympäristöjen ääniolosuhteita on tutkittu vähän [47]. Ensimmäisissä valmistuneissa kohteissa on tehty akustisia mittauksia (Kuva 7). Tilojen jälkikaiku-ajasta 0,4–0,5 sekuntia vastaavat muissa maissa julkaistuja ohjearvoja [43]. STI-arvo 0,5, jonka ylittyessä puheen katsotaan häiritsevän keskittymistä, saavutettiin tyypillisesti

10–16 m etäisyydellä äänilähteestä. Käytännössä puhe on erotettavissa kaikkialla tutkituissa tiloissa. Jälkikaiunta-aika ei ole avoimissa oppimisympäristöissä riittävä suunnittelukriteeri, eikä ilmanvaihdon ja muiden taloteknisten laitteiden aiheuttama taustääni (24–32 dB $L_{A,eq}$) ole riittävän suuri peittääkseen puhetta ja vähentääkseen sen häiritsevyyttä suurilla etäisyyksillä [45,48,49].

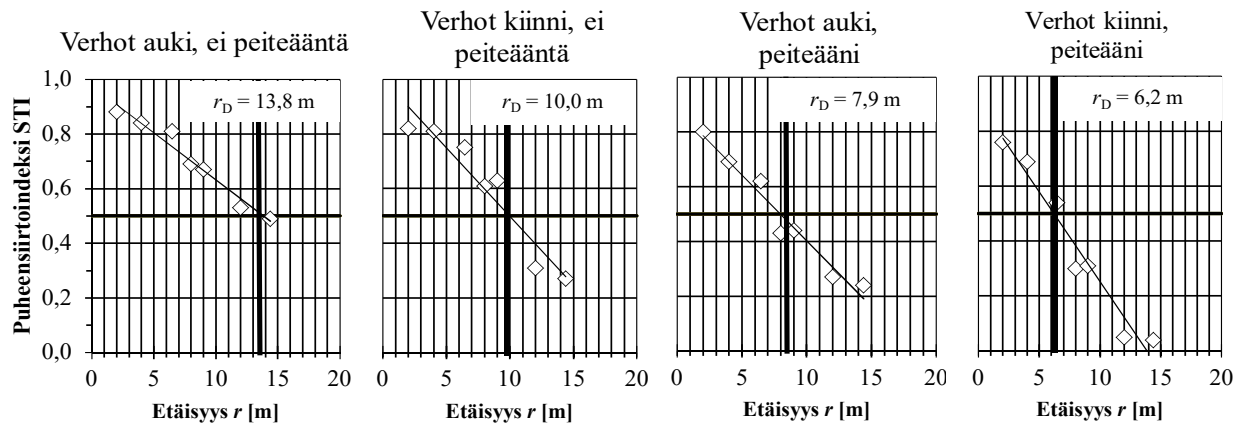


Kuva 7. Avoimissa oppimisympäristöissä mitattuja puheensiirtoindeksin STI arvoja etäisyyden suhteen, kun tilassa on peiteäänijärjestelmä (oik.) tai peiteäänijärjestelmää ei ole ja tilan taustäänitaso muodostuu ilmanvaihdon ja muiden LVIS-järjestelmien tuottamista äänistä (vas.) [47].

Peittoäänien käyttöä avoimissa oppimisympäristöissä on ehdotettu jo 1970-luvulla [50]. Tarkoituksena on tällöin rajoittaa etäisyyttä, jolla puhe on hyvin erotettavissa ja vähentää siten sen häiritsevyyttä. Peittoäänien vaikutusta häiritsevyys- ja yksityisyyssäteiden arvoon on kokeiltu laskemalla puheensiirtoindeksien STI-arvot myös laskennallisella peittoäänitasolla 40 dB ja valitulla äänispektrillä [49,51]. Tällöin puheensiirtoindeksin arvo 0,5 saavutetaan 6–9 metrin etäisyydellä eli etäisyys pienenee 4–8 metriä.

Suurilla etäisyyksillä puheensiirtoindeksin STI tulisi olla mahdollisimman pieni, mutta tarpeeksi suuri pienillä etäisyyksillä tilanteessa, jossa opettaja puhuu koko ryhmälleen. Opetustiloissa puheensiirtoindeksin STI-arvon tulisi olla vähintään 0,7 (Luku 3.3). Tätä lukuarvoa voidaan soveltaa avoimissa oppimisympäristöissä pienillä etäisyyksillä ja se saavutetaan noin 3–4 m etäisyydellä, kun tilassa on 40 dB peittoäänitaso (Kuva 7). Tämä etäisyys mahdollistaa hyvän puheenerotettavuuden opettajan puhuessa koko opetusryhmälle. Alle 0,5 puheensiirtoindeksin arvo saavutettiin kaikissa mitatuissa tilanteissa 8 metrin etäisyydellä, kun peittoääni oli 40 dB [49].

Avoimissa oppimisympäristöissä tilaa jakavien kalusteiden ja verhojen määrä vaihtelee. Puheensiirtoindeksin STI-arvo pienenee nopeimmin tiloissa, joissa oli eniten korkeita kalusteita ja ääntä absorboivia ja eristäviä verhoja. Kuvassa 8 on esitetty avoimessa oppimisympäristössä mitattuja puheensiirtoindeksin arvoja eri etäisyyksillä, kun tilan keskellä olevat verhot ovat auki tai kiinni ja peittoäänijärjestelmä on toiminnassa tai pois toiminnasta. Tilanjakajilla ja peittoäänellä voidaan rajoittaa aluetta, jolla puheääni voi olla häiritsevää.



Kuva 8. Puheensiirtoindeksin STI riippuvuus etäisyydestä äänilähteeseen erilaisissa akustisissa tilanteissa [49].

Avoimessa oppimisympäristössä opettajan äänen tulee kantaa muun äänen yli, kun opettaja puhuu opetusryhmälleen. Tehokkaasti absorboivan materiaalin lisäys koko katon alalle pienentää avoimessa oppimisympäristössä tapahtuvasta toiminnasta syntyvää keskiäänitasoa opetuksen aikana 6 dB [45,40,46]. Peittoäänijärjestelmä ei lähtökohtaisesti lisää opetuksen aikaista keskiäänitasoa [45].

3.3 Opetustilat

Tavallisin opetustilojen (luokkahuoneiden) suunnittelussa käytetty akustinen mittasuure on jälkikaiunta-aika T . Suomessa on 1940-luvulta saakka annettu suosituksia opetustilojen jälkikaiunta-ajasta. Suositusarvot ovat vaihdelleet 0,5 s ja 0,8 s välillä [52]. Jälkikaiunta-aika on yksi tekijä opetustilan ääniolosuhteista. Sen lisäksi opettajan äänen on oltava frontaaliopetuksessa riittävän kuuluva koko tilassa, kun opettaja puhuu tilan toisessa päässä.

Jälkikaiunta-aika ja signaalikohinasuhde eli puheäänen äänenpainetason ja taustäänitason erotus ovat tärkeitä puheenerotettavuudelle. Jos puheen erotettavuutta arvioidaan

vain huoneakustisten mittasuureiden, kuten puheensiirtoindeksin STI avulla, tulos paranee sitä enemmän, mitä pienemmäksi jälkikaiunta-aika mitoitetaan. Opetustilassa suora äänen kulkureitti varsinkin tilan takaosiin voi olla estetty, koska edessä istuvat oppilaat ovat takana istuvien kannalta esteinä. Puheen suunta vaihtelee opetustilanteessa. Äänen suora kulkureitti voi katketa, jolloin kuuluvuus voi riippua esimerkiksi vain katosta tulevista varhaisista heijastuksista [53,54]. Jos nämä heijastukset ovat heikkoja kyseisten heijastuspintojen voimakkaan absorptiosuhteen vuoksi, puheen erotettavuus on helposti huono.

Huoneakustiikaltaan tarkoituksenmukaisessa opetustilassa taustäänitaso on riittävän pieni ($L_{A,eq} \leq 35$ dB) ja tilan absorboivat pinnat on suunniteltu niin, että varhaisia heijastuksia syntyy, mutta myöhäiset heijastukset vaimenevat [55]. Hieman kaiuntainen opetustila on puheen erotettavuuden kannalta parempi kuin opetustila, jossa absorptioon määrää lisäämällä pyritään mahdollisimman lyhyeen jälkikaiunta-aikaan ja vaimennetaan samalla aikaiset heijastukset. Sopiva jälkikaiunta-aika on noin 0,5...0,7 sekuntia [56,57].

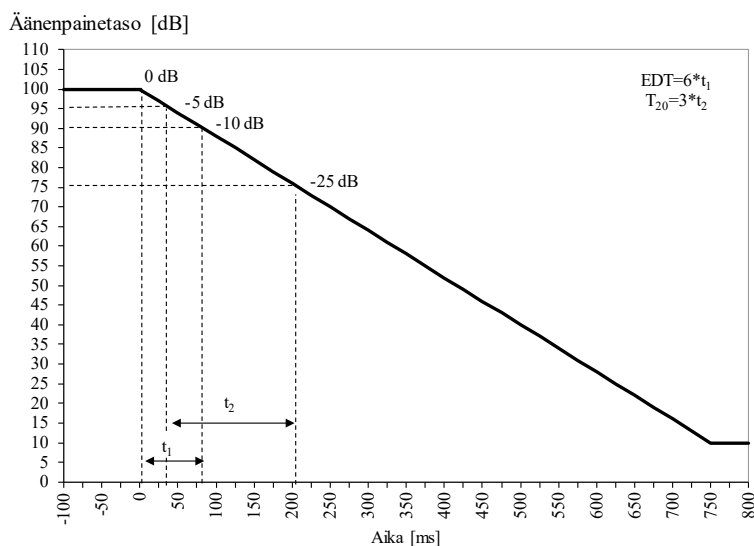
Opetustilassa opettajan äänenkäytön kannalta merkittävä tekijä on huoneakustiikan lisäksi tilaan toiminnasta syntyvä äänitaso. Mitä suurempi taustäänitaso, sitä enemmän opettajan on korotettava ääntään. Jälkikaiunta-ajan lyheneminen noin 0,2–0,3 sekuntia pienentää tilassa tapahtuvan toiminnan aiheuttamaa äänitasoa noin 7–8 dB [58]. Jälkikaiunta-ajan lyhentäminen tarkoittaa absorptioalan kasvattamista. Absorptioalan liiallinen kasvattaminen vaimentaa puheen kuuluvuuden kannalta tärkeät varhaiset heijastukset ja siten opetustilan ylivaimentamista tulee välttää.

Opetustilan huoneakustiikan suunnittelu siten, että frontaaliopetuksessa saavutetaan mahdollisimman hyvä kuuluvuus ja puheenerotettavuus tilanteessa, jossa opettaja puhuu koko opetusryhmälleen luokan etuosasta, ei estä tilan käyttöä myös ryhmätöihin ja muihin koulutyöhön sisältyviin työtapoihin.

4 Ääniolosuhteiden arvioinnin mittaluvut

4.1 Jälkikaiunta-aika

Jälkikaiunta-aika on aika äänilähteen sammumisesta hetkeen, jolloin äänenpainetaso on vaimentunut 60 desibeliä. Tavallisesti jälkikaiunta-aika määritetään mittaamalla aika äänilähteen sammuttamisesta 5 dB:n ja 25 dB:n vaimentumaan (Kuva 9). Jälkikaiunta-aika T_{20} määritetään yleensä mittaamalla 20 dB:n vaimenemaan kuluva aika t_2 ja kertomalla se kolmella. Varhainen jälkikaiunta-aika EDT määritetään mittaamalla 10 dB:n vaimenemaan kuluva aika t_1 ja kertomalla se kuudella.



Kuva 9. Jälkikaiunta-ajan määrittäminen.

Jälkikaiunta-aika mitataan standardin ISO 3382-2 mukaan "Engineering" tarkkuudella [59]. Tulos esitetään 1/1-oktaavikaistoittain taajuuksilla 125–8000 Hz, joka vastaa

puheensiirtindeksiin STI taajuuskaistaa. Vertailu jälkikaiunta-ajan ohjearvoihin tehdään oktaavikaistoilla 250–2000 Hz ääniympäristöohjeen mukaisesti.

4.2 Puheensiirtindeksi

Puheensiirtindeksi STI on yksilukusuure, joka perustuu oktaavikaistoilla 125-8000 Hz tehtyihin mittauksiin ja laskelmiin. STI saa arvoja väliltä 0.0 ja 1.0:

- STI-arvo 0.00 tarkoittaa, että puheesta ei saa lainkaan selvää.
- STI-arvo 1.00 tarkoittaa, että puheesta saa täydellisesti selvää.

STI-arvo kasvaa, kun

- puheen äänitaso kuulijan paikalla kasvaa,
- taustamelun äänitaso kuulijan paikalla pienenee,
- huoneen jälkikaiunta-aika puhujan ja kuulijan väliltä mitattuna lyhenee.

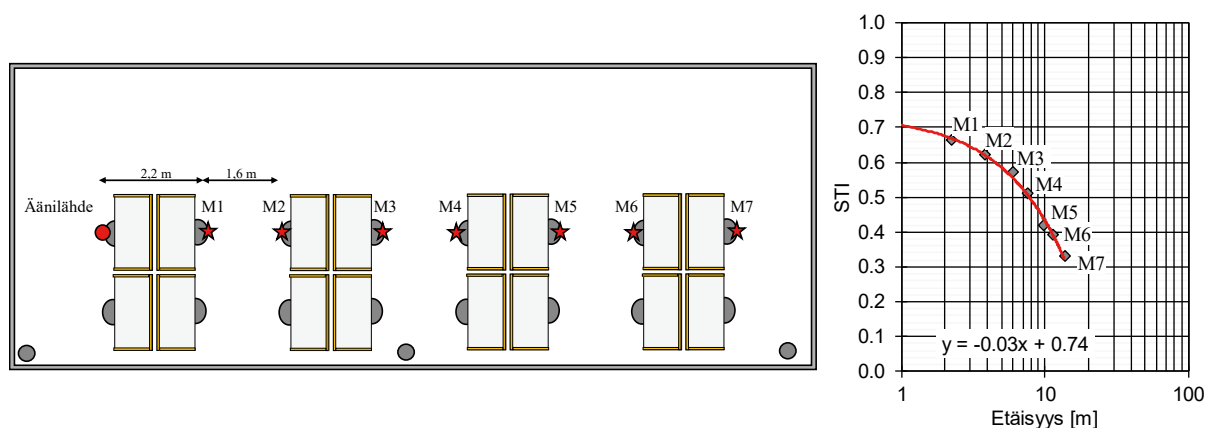
Puheen äänitasoa lisää puheäänien voimistaminen, puhujan ja kuulijan välisen etäisyyden lyheneminen, puhujan suuntautuminen kuulijaan päin ja huoneen kaiunta.

Puhekommunikaatiolle tarkoitetuissa tiloissa STI-arvon tulisi olla suuri. Keskittymistä vaativissa tiloissa, kuten avoimissa toimistotiloissa, tilanne on päinvastainen.

STI-luku mitataan ympärisäteilevällä kaiuttimella standardipuheen voimakkuudella, jolloin puhujan suunnalla tai puheäänien voimakkuudella ei ole vaikutusta ja puheäänien tasoon vaikuttavat vain etäisyys puhujaan ja huoneen kaiunta.

STI-luku mitataan huonetiloissa standardin IEC 60268-16 mukaan [60]. Ympärisäteilevä äänilähde asetetaan puhujan paikalle ja STI:n mittausmikrofoni vuoron perään kuulijan paikkoihin.

Avoimissa toimistoympäristöissä STI-luku mitataan standardin ISO 3382-3 määrittämissä paikoissa [61]. Mittaus tehdään koko huoneen alueella ja puheensiirtindeksi STI mitataan eri etäisyyksillä sijaitsevista pisteistä. Sekä äänilähde että mittauspiste sijoitetaan 1.2 m korkeudelle lattiasta. Ilmanvaihto ja peittoäänijärjestelmä ovat toiminnassa, mutta huone on mittaajia lukuun ottamatta miehittämätön mittauksen ajan. Kuvassa 10 on esitetty esimerkki mittauksesta avoimessa toimistoympäristössä. Äänilähde on sijoitettu huoneen toisella sivulla olevaan työpisteeseen ja mittauspisteet M1-M7 on sijoitettu äänilähteestä eri etäisyyksillä sijaitseviin työpisteisiin mahdollisimman suoralla linjalla.



Kuva 10. Puheensiirtoindeksin STI mittaus avoimessa toimistoympäristössä.

Mittaus tehdään kalustamattomassa huoneessa, jolloin tuloksia voidaan verrata ääniympäristöohjeen ohjearvoon. Jos huone on kalustettu, mittaus suoritetaan työpisteissä sekä tämän lisäksi myös alueella, jossa kalusteita on mahdollisimman vähän. Tähän tarkoitukseen soveltuvat esimerkiksi kulkureitit. Tulosten perusteella voidaan arvioida etäisyys, jossa ääniympäristöohjeen mukainen kalustamattoman tilan puheensiirtoindeksin STI ohjearvo 0,50 alittuu.

Avoimessa oppimisympäristössä ja opetustiloissa toimistoympäristöä vastaavaa mittausstandardia ei toistaiseksi ole. Mittaus suoritetaan näissä tiloissa vastaavalla tavalla kuin avoimissa toimistoympäristöissä.

Suunnitteluvaiheessa puheensiirtoindeksi STI pyritään arvioimaan laskennallisesti. Laskenta varten tilasta valitaan kuvitteellinen mittauslinja, jossa standardin mukaisen STI-arvon mittauksen voisi suorittaa. Puheäänien oletetaan vastaavan niin sanottua standardipuhetta, jonka painottoman äänitehotaso on esitetty ISO 3382-3 standardissa. STI:n laskeminen edellyttää tietoa

1. tilan jälkikaiunta-ajasta,
2. puheen äänenpainetasosta kussakin mittauslinjalle kuuluvassa työpisteessä ja
3. taustamelun (peittoäänien) äänenpainetasosta.

Jälkikaiunta-aika ja puheen äänenpainetaso voidaan laskea esimerkiksi RIL 243-1 ja RIL 243-3 mukaisilla menetelmillä [62,51]. Huoneakustiikan laskentaohjelmistoilla voidaan laskea tilan jälkikaiunta-aika ja taustamelutaso. Taustamelun äänenpainetaso arvioidaan ottaen huomioon tilan mahdollinen peittoäänijärjestelmä.

Suunnitteluvaiheessa puheensiirtoindeksi STI voidaan määrittää esimerkiksi standardin IEC 60268-16 mukaisella menetelmällä, huoneakustiikan laskentaohjelmiston avulla tai muita dokumentoitavissa olevia menetelmiä [60]. Toimistoympäristössä on mahdollista käyttää myös IEC-standardia edeltänyttä yksinkertaisempaa STI-mallia [63,64]. Laskennallinen STI-arvo tulee todentaa mittauksin.

4.3 Häiritsevyysetaisyys

Häiritsevyysetaisyys on se etäisyys puhujaan, jota kauempana puheensiirtoindeksi STI-arvo on pienempi kuin 0.50.

Häiritsevyysetaisyys määritetään mittaamalla STI-luku eri etäisyyksillä äänilähteestä sijaitsevilla työpisteillä ja määrittämällä häiritsevyysetaisyys näiden mittauspisteiden välille tehdyttä sovitussuoralta standardin ISO 3382-3 mukaisesti [61]. Menetelmää voidaan soveltaa verrattaessa STI-arvoa ohjearvoon 0.50. Esimerkki häiritsevyysetaisyyden määrittämisestä on esitetty kuvassa 10, missä häiritsevyysetaisyydeksi r_D saatiin 7.8 m.

5 Avoimen toimistotilan suunnittelu

5.1 Suunnittelukriteerit

Toimistotilan jälkikaiunta-ajan T ohjearvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,60 sekuntia ja puheensiirtindeksin STI ohjearvo on pienempi tai yhtä suuri kuin 0,50. STI:n ohjearvon tulisi lähtökohtaisesti alittua kalustamattoman avoimen toimistotilan tarkastelupisteessä, joka on yli 8 metrin päässä äänilähteestä standardin ISO 3382-3 mukaisella mittauksella (Luku 3) [61].

Jälkikaiunta-ajan ohjearvo koskee oktaavitaajuuskaistoja 250, 500, 1000 ja 2000 Hz. Oktaavitaajuuskaistoilla 4000 ja 8000 Hz jälkikaiunta-ajan suositeltava enimmäisarvo on 0,60 sekuntia ja oktaavitaajuuskaistalla 125 Hz 0,90 sekuntia.

5.2 Akustiset suunnitteluratkaisut

Ohjearvojen tulisi toteutua lähtökohtaisesti kalustamattomassa huoneessa. Tilaa rajaavat seinäkkeet ja säilyttimet, joiden ääneneristys- ja -absorptio-ominaisuudet riippuvat voimakkaasti tuotteesta, vaikuttavat ääniolosuhteisiin. Huoneessa oleva kalusteiden määrä, kalustetyypit ja niiden korkeudet voivat vaihdella tilan elinkaaren aikana. Huoneakustiikka tulisi lähtökohtaisesti suunnitella ja toteuttaa siten, että tarkoituksenmukaiset ääniolosuhteet toteutuvat ilman kalusteiden lisävaikutusta, kuten tilanteessa, missä kalustus koostui vain pöydistä ja tuoleista.

Ääniolosuhteiden suunnittelussa voidaan käyttää RIL 243-3 ohjetta [51]. Ohjearvojen mukaiset ääniolosuhteet voidaan toteuttaa tavanomaisessa kalustamattomassa tilassa (noin 250 m³, 7 m-14 m-2,5 m) esimerkiksi seuraavasti:

1. Katon keskimääräinen absorptiosuhde A on taajuuksilla 250-2000 Hz vähintään 0,70. Keskimääräinen absorptiosuhde on määritelty luvussa 1.

2. Pystypintojen keskimääräinen absorptiosuhde B on taajuuksilla 250-2000 Hz vähintään 0,15.
3. Peittoäänijärjestelmän äänitaso L_{Aeq} on 42 dB.
4. Lattialla on tekstiilimatto.

Pystypintoja ovat väliseinät, ulkoseinät, siirtoseinät, ovet, lattiasta kattoon ulottuvat pilarit ja niissä olevat lasitukset ja ikkunat. Pystypinnoille tuleva absorptiomateriaali sijoitetaan vähintään kahdelle erisuuntaiselle seinäpinnalle vaakasuuntaisen kaiunnan välttämiseksi tilassa.

Tekstiilimatto vaikuttaa ääniolosuhteisiin vain siten, että toimistossa liikkumisesta ja kalusteiden liikuttelusta aiheutuisi mahdollisimman vähän ääniä.

Kun huonetilavuus kasvaa, keskimääräisten absorptiosuhteiden tulee olla suurempia. Esimerkiksi neljä kertaa suuremman toimiston (noin 1000 m³, 20 m·20 m·2,5 m) keskimääräiseksi absorptiosuhteiksi A ja B voidaan mitoittaa 0,70 ja 0,30.

Taulukossa 2 ja kuvassa 11 on esitetty tavanomaisen toimistokohteen (15 m·14 m·2,4 m) ääniolosuhteiden muuttuminen rakentamisen aikana. Standardien ISO 3382-2 ja ISO 3382-3 mukaiset huoneakustiset mittaukset on tehty viidessä tilanteessa (a) – (e). Tilan ääniolosuhteiden ohjearvot toteutuvat tilanteessa (c), missä tila on valmis mutta kalusteita ei ole asennettu. Puheensiirtoindeksin suunnittelukriteeri $STI < 0,50$ toteutuu, kun etäisyys puhujaan on yli 8 metriä (vaatimus toteutuu, koska häiritsevyysetäisyys 5,4 m). Jälkikäy-
ntä-ajan suunnittelukriteeri $T < 0,60$ sekuntia toteutuu taajuuskaistoilla 250-1000 Hz. Punaisella vyöhykkeellä olevat kuvan 11 arvot eivät täytä ohjearvoja. Suunnittelukriteeri ei toteudu taajuuskaistalla 2000 Hz johtuen mahdollisesti siitä, että seinäpintojen akustointi on toteutettu vain yhdellä pystypinnalla.

Taulukko 2. Avoimen toimistotilan ääniolosuhteiden muuttuminen.

Tilanne	Katto	Lattia	Seinät	Seinäkkeet	Peiteäänitaso	r_D [m]
(a) Kalustamaton, akustoimaton, ei peiteääntä	Kova	Kova	Kovat	Ei	33 dB	14,0
(b) Kalustamaton, akustoitu, ei peiteääntä	Absorboiva	Absorboiva	Absorboiva	Ei	33 dB	13,8
(c) Kalustamaton, akustoitu, peiteäänijärjestelmä	Absorboiva	Absorboiva	Absorboiva	Ei	44 dB	5,4
(d) Kalustettu, akustoitu, ei peiteääntä	Absorboiva	Absorboiva	Absorboiva	Absorboivat	33 dB	8,9
(e) Kalustettu, akustoitu, peiteäänijärjestelmä	Absorboiva	Absorboiva	Absorboiva	Absorboivat	44 dB	1,5

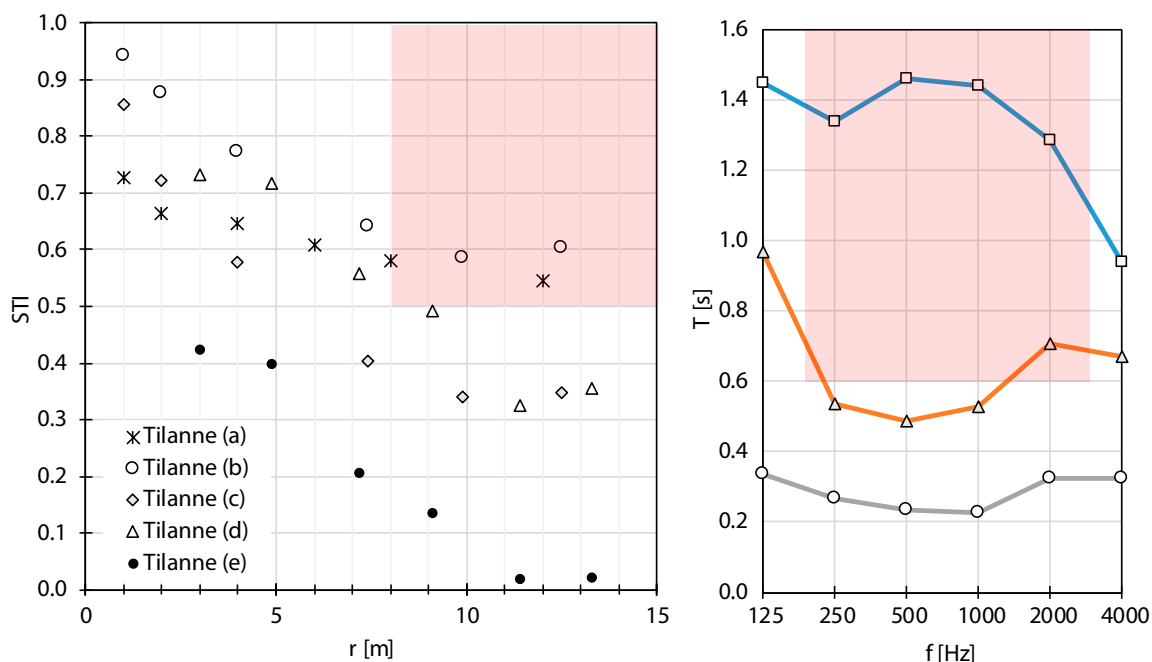
Absorboiva katto: 90 % katosta oli pinnoitettu ISO 11654 absorptioluokan A materiaalilla.

Absorboiva lattia: koko lattialla oli tekstiilimatto.

Absorboivat seinät: yksi huoneen seinistä oli pinnoitettu kokonaan ISO 11654 absorptioluokan A materiaalilla.

Absorboivat seinäkkeet: 1.5 m korkeuteen ulottuvat pöytäseinäkkeet, ISO 11654 absorptioluokka B.

Kova katto, kova lattia ja kovat seinät tarkoittavat paljasta betoni-, kevytväliseinä- tai lasipintaa.



Kuva 11. Avoimen toimistotilan ääniolosuhteiden mittaustulokset tilanteissa (a)–(e). Vasen kuva: Puheensiirtaindeksi STI etäisyyden r suhteen. Oikea kuva: Jälkikaiunta-aika T taajuuden f suhteen.

5.3 Puheenpeittoääni

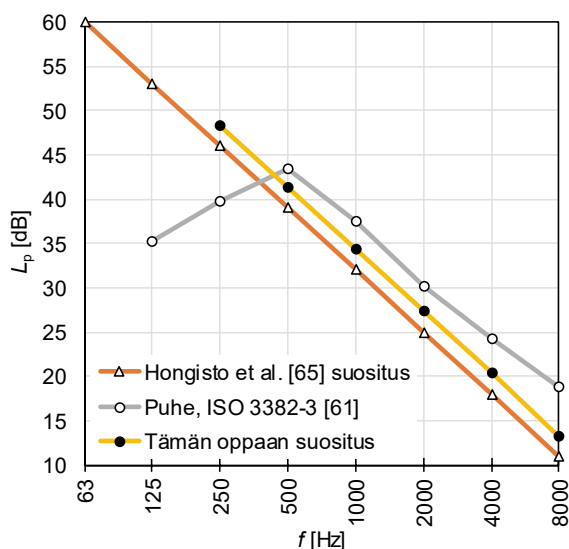
Puheenpeittoäänellä tarkoitetaan muuta ääntä kuin itse puheääntä. Puheenpeittoäänien taso vaikuttaa käänteisesti STI-arvoon; mitä suurempi peittoäänien taso on, sitä pienempi on STI-arvo. Puheenpeittoäänien ei tulisi ylittää keskiäänitasoa L_{Aeq} 45 dB, jotta puheääntä ei tarvitsisi normaalissa kommunikaatiossa alle 2 metrin etäisyydellä korottaa.

Toimiston aktiviteeteista aiheutuvat äänet eivät ole puheenpeittoääntä, koska ne sisältävät puheääntä ja äänitaso vaihtelee käyttäjästä toiseen. Tätä ääntä ei oteta huomioon STI-arvon laskennassa.

Taloteknisten laitteiden, kuten ilmanvaihdon, keskiäänitason L_{Aeq} ohjearvo on toimistoissa enintään 33 dB. Tällaisella puheenpeittoäänitasolla STI:n ohjearvo 0.50 saavutetaan vasta yli 15 m päässä puhujasta, vaikka huonepinnat olisivat voimakkaasti ääntä vaimentavia (Kuva 3 ja 11).

Puheenpeittoääni tuotetaan tilaan yleensä tilakohtaisella järjestelmällä, missä pienikokoisten peittoäänikaiuttimien verkko tuottaa mahdollisimman tasaisen ja sisällöltään samanlaisen peittoäänien koko tilaan. Kaiutinverkko voi olla asennettu alakaton yläpuolelle, alakattoon tai asennuslattian alapuolella. Näistä yleisin on alakattoon tai kattoon asennettu kaiutinverkosto. Kaiutinverkon tiheys suunnitellaan valmistajan ohjeiden mukaan.

Tyypillisillä peittoäänijärjestelmillä satunnaiskohinaa tuotetaan taajuusalueella 200–10 000 Hz. Peittoäänien taajuusjakauma, missä äänenpainetaso pienenee 7 dB taajuuden kaksinkertaistuksessa, on samanaikaisesti mahdollisimman vähän häiritsevää ja hyvin puhetta peittävä [65]. Kuvassa 12 on esitetty suositus puheenpeittoäänien taajuusjakaumaksi. Kaikki käyrät on esitetty 43 dB:n keskiäänitasolla L_{Aeq} . Puhe ei sisällä voimakkaita äänikomponentteja 125 Hz:n taajuuskaistalla tai tämän alapuolella, mistä johtuen tämän ohjeen suositus alkaa taajuudesta 250 Hz. Tätä taajuutta suuremmilla taajuuksilla äänenpainetaso pienenee 7 dB taajuuden kaksinkertaistuksessa.



Kuva 12. Erilaisten peittoäänien ja standardoidun puheäänien painottamaton äänenpainetaso L_p oktaavikaistan keskitajuuden f suhteen.

5.4 Käyttäjän vaikutus tilan ääniolosuhteisiin

Luvun 5.2 ratkaisulla tilan huoneakustiikka voidaan suunnitella tarkoituksenmukaiseksi riippumatta sisustus- ja kalusteratkaisuista. Työpisteiden välillä olevilla ääntä absorboivilla seinäkkeillä jälkikaiunta-aikaa voidaan lyhentää ja puheensiirtaindeksiä pienentää (Taulukko 2 ja Kuva 11).

Toimiston pohjaratkaisua suunniteltaessa työtehtävien profiilit tulisi ottaa huomioon. Työpisteitä tulisi sijoittaa erityyppisissä työtiloissa, kuten avoimessa toimistoympäristössä, vetäytymishuoneessa ja neuvottelutilassa, työtehtävän luonteen kannalta tarkoituksenmukaisin suhtein ja sijainnein. Monitilatoimiston suunnitteluun on annettu ohjeita [5,66,67,68]. Avoin toimistoympäristö tulisi sisältää vetäytymishuoneita, joissa voidaan suorittaa esimerkiksi seuraavia työtehtäviä:

1. puhelin- ja vastaavat neuvottelut,
2. keskusteluja vaativat pienryhmätyöt,
3. keskittymistä vaativat työtehtävät, ja
4. luottamuksellisuutta vaativat työtehtävät.

Vetäytymistilat voivat kuulua rakennukseen kiinteästi tai olla liikuteltavia. Kiinteiden vetäytymistilojen äänitasoeroluvun D_{nT} ohjearvo on 40 dB.

Liikuteltavat vetäytymistilat voivat olla suljettuja tai puoliavoimia. Niiden akustisille ominaisuuksille ei ole annettu vaatimuksia ohjearvoina. Tilojen puheäänenvaimennus voidaan arvioida [69]. Puoliavoimilla vetäytymistiloilla saavutetaan enintään 5-10 dB:n puheäänenvaimennus $D_{s,A}$ standardin ISO DIS 23351-1 mukaan määritettynä [70]. Jos tilan avoin sivu on suunnattu poispäin melusta häiriintyvistä ja sitä ympäröivässä tilassa on riittävästi peittoääntä, saavutetaan puoliavoimella vetäytymistilalla merkittävä äänenvaimennus suojaamattomaan työpisteeseen nähden. Ovella suljettavan liikuteltavan vetäytymistilan puheäänenvaimennus on 15-35 dB. Jos tilan puheäänenvaimennus on yli 25 dB, se voidaan sijoittaa työpisteiden läheisyyteen ilman, että tilan puheäännet haittaavat keskittymistä lähityöpisteissä. Vetäytymistilojen puheyksityisyys on suurempi, jos tilassa on peittoäänijärjestelmä.

Toimistomelua voidaan vähentää sopimalla, miten toimitilan työtiloja käytetään ja niissä toimitaan. Toimiva ratkaisu on esimerkiksi toisistaan äänieristetty hiljaisen ja vuorovaikutteisen työskentelyn vyöhyke. Edellisessä keskustelua ei sallita, kun taas jälkimmäisissä sitä ei rajoiteta.

6 Avoimen oppimisympäristön suunnittelu

6.1 Suunnittelukriteerit

Avoimissa oppimisryhmissä puheenerotettavuuden lukuarvo koskee yksittäistä oppimisryhmää lyhyillä etäisyyksillä. Etäisyydellä 3 m puhujasta puheensiirtotindeksiin STI ohjearvo on vähintään 0,7. Oppimisryhmien välillä puheen erotettavuus tulisi olla mahdollisimman pieni. Etäisyydellä 8 m puhujasta puheensiirtotindeksiin ohjearvo on enintään 0,5.

Jälkikaiunta-aika T ei ole riittävä suunnittelukriteeri avoimissa oppimisympäristöissä, mutta sen avulla voidaan määrittää tarvittava absorptiomateriaalin määrä tilassa. Jälkikaiunta-ajan lukuarvon tulisi alittaa ohjearvon 0,5 s oktaavikaistoilla 250, 500, 1000 ja 2000 Hz. On suositeltavaa, että 0,50 sekuntia alittuu myös oktaavitaajuuskaistoilla 4000 ja 8000 Hz.

6.2 Akustiset suunnitteluratkaisut

Ohjearvojen tulee toteutua lähtökohtaisesti kalustamattomassa avoimessa oppimisympäristössä. Kalusteita hyödyntämällä voidaan päästä ääniolosuhteilta ohjearvoja parempaan lopputulokseen, mikä on työrauhan ja oppimistulosten kannalta edullista.

Ohjearvojen mukainen huoneakustiikka toteutuu esimerkiksi seuraavin keinoin:

- Katon keskimääräinen absorptiosuhde on taajuuksilla 250-2000 Hz vähintään 0.70.
- Lattialla on tekstiilimatto, joka vaimentaa riittävästi askelääniä ja kalusteiden ääniä samassa tilassa
- Pystypintojen keskimääräinen absorptiosuhde on taajuuksilla 250-2000 Hz vähintään 0.20. Pystypintoja ovat väliseinät, ovet, lattiasta kattoon ulottuvat pilarit, ulkoseinät ja niissä olevat lasitukset ja ikkunat.
- Peittoäänijärjestelmä, jonka keskiäänitaso L_{Aeq} on 35–40 dB (Luku 5.3)

Avoimen oppimisympäristön ääniolosuhteisiin voidaan vaikuttaa tilanjakajilla, kuten seinäkkeillä, kalusteilla, verhoilla, paljeovilla ja vastaavilla helposti liikuteltavilla ratkaisuilla. Tilaan voidaan järjestää pieniä rauhallisia vetäytymistiloja, ryhmätyötiloja ja vastaavia ratkaisuja, jolloin niissä kussakin voidaan saavuttaa erilaiset ääniolosuhteet ja valinnanvaraa oppilaille. Avoimessa oppimisympäristössä opetustiloja suuremman huonekorkeuden on havaittu lisäävän puheyksityisyyttä suurilla etäisyyksillä, koska kattoheijastuksen merkitys äänen etenemisessä pienenee.

7 Opetustilan suunnittelu

7.1 Suunnittelukriteerit

Opetustiloissa kommunikoinnin opettajan ja oppilaan, sekä oppilaiden välillä tulee olla vai-
vatonta. Opetustilan jälkikaiunta-ajan T ohjearvo on 0,5–0,7 sekuntia ja puheensiirtoindek-
sin STI ohjearvo on suurempi tai yhtä suuri kuin 0,7. Jälkikaiunta-ajan vaatimuksella tarkoi-
tetaan pisintä oktaavikaistoilla 250, 500, 1 000 ja 2 000 hertsiä esiintyvää jälkikaiunta-aikaa
normaalisti kalustetussa huoneessa. Oktaavikaistalla 125 Hz lukuarvo voi ylittyä 50 %.

Päiväkodin ryhmätilan, kuten leikkihuoneen, jälkikaiunta-ajan olisi tarkoituksenmukaista
olla enintään 0,6 sekuntia.

Jälkikaiunta-ajalle ja puheensiirtoindeksille asetetun vaatimuksen tulee toteutua lähtö-
kohtaisesti vastaanottovalmiissa opetustilassa, jossa on kiinteät rakenteet ja järjestelmät.
Mittaus suoritetaan siten, ettei tilassa ole mittajaa lukuun ottamatta ihmisiä ja talotekni-
set laitteet toimivat normaalisti.

Rakennuksen teknisistä järjestelmistä syntyvä keskiäänitaso $L_{A,eq}$ saa olla opetustilassa
enintään 33 dB ja enimmäisäänitaso $L_{A,max,T}$ 38 dB.

7.2 Akustiset suunnitteluratkaisut

Puheensiirtoindeksin laskennassa käytetään vähintään kahta lähdepistettä opettajan työs-
kentelyalueelle opetustilan toiseen päähän ja kolmea tilaan tasaisesti jakaantunutta vas-
taanottopistettä, jotka sijaitsevat 1,2 metriä lattiapinnasta ja vähintään metrin etäisyydellä
seinäpinoista. Yhden vastaanottopisteistä tulee olla opetustilan takaosassa mahdollisim-
man kaukana äänilähteestä.

Puheensiirtindeksin STI arvo riippuu opetustilassa jälkikaiunta-ajasta, taustamelun äänitasosta sekä absorptiomateriaalin sijoittelusta tilaan. Pyrittäessä hyvään puheenerotettavuuteen voidaan käyttää seuraavia keinoja:

- ääntä heijastavia pintoja, joiden avulla puhujan äänenvoimakkuutta kuulijoille voidaan vahvistaa
- ääntä absorboivia pintoja, joilla tilan kaiuntaa voidaan vähentää ja parantaa puheen selvyyttä

Opetustilassa katon keskiosan tulee olla ääntä heijastava, jotta ääni heijastuisi opetustilan päästä kaikkialle tilaan. Kattoheijastuksen merkitys on sitä suurempi, mitä suurempi opetustila on. Absorptiomateriaalia voidaan sijoittaa katon laitaosien lisäksi myös seinäpinoille, erityisesti sivuseinien yläosiin sekä takaseinän koko pinta-alalle. Absorptiomateriaalin sijoitus kattoon riippuu sen absorptiosuhteesta:

- kun absorptiosuhde on luokkaa 0,6–0,7, materiaalia voidaan sijoittaa koko katon alalle
- kun absorptiosuhde on luokkaa 0,9, materiaalia sijoitetaan katon laidalle. Katon keskelle materiaalia ei pidä sijoittaa, sillä tällöin hyödyllinen kattoheijastus vaimenee ja puheen kuuluvuus opetustilan takaosaan heikkenee

8 Kokoustilan suunnittelu

8.1 Suunnittelukriteerit

Kokoustilan ääniolosuhteiden suunnittelutavoitteena on tehdä mahdolliseksi tehokas ja häiriötön kommunikointi kokouksen osallistujien kesken. Kokoustilan jälkikaiunta-ajan T ohjearvo on 0,5–0,7 sekuntia ja puheensiirtaindeksi STI ohjearvo on suurempi tai yhtä suuri kuin 0,7.

Videoneuvottelutiloissa tilan huoneakustiikka vaikuttaa puheenerotettavuuteen sekä lähettyksen että vastaanoton kannalta. Siksi näissä tiloissa jälkikaiunta-aika on suositeltavaa mitoittaa 0,2 s lyhyemmäksi sekä ottaa huomioon puheenselvyyttä heikentävät kaikuilmiöt, kuten tärykaiku [51].

Rakennuksen teknisistä järjestelmistä syntyvä keskiäänitaso $L_{A,eq}$ saa olla kokoustilassa enintään 33 dB ja enimmäisäänitaso $L_{A,max,T}$ 38 dB.

8.2 Akustiset suunnitteluratkaisut

Kokoustiloissa absorptiomateriaalia sijoitetaan kattopintaan. Mitä suurempi kokoustila on, sitä merkittävämmäksi tulee katon keskiosassa sijaitseva ääntä heijastava pinta. Kokoustilan kaltaisessa pienehkössä tilassa tärykaiusta voi tulla ongelma. Sen estämiseksi absorptiomateriaalia tulee olla kattopinnan lisäksi esimerkiksi

- kahdella vierekkäisellä seinäpinnalla tai
- seinäpinnoilla yleensä siten, että materiaalia on istuvan ihmisen pään korkeudella

Videoneuvotteluhuoneissa voidaan täry- ja muiden kaikuilmiöiden poistamiseksi käyttää myös ääntä sirottavia pintoja, kuten diffusorirakenteita.

9 Potilashuoneen, ruokailu-, hoito- ja harrastushuoneen sekä liikuntatilan suunnittelu

Potilashuoneen, ruokailu- ja liikuntatilan, potilashuoneen, hoito- sekä harrastustilan ääniolosuhteiden ohjearvot on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Potilashuoneen, ruokailu- ja liikuntatilan, hoito- sekä harrastushuoneen ohjearvot.

Tila	Jälkikaiunta-aika T [s]	Puheensiirtoindeksi STI
Potilashuone	0,8 s	$\geq 0,6$
Ruokailutila	1,2 s	$\geq 0,6$
Liikuntatila	1,2 s	$\geq 0,6$
Hoitotila	0,8 s	$\geq 0,6$
Harrastustila	0,8 s	$\geq 0,6$

Ruokailu- ja liikuntatiloissa vähintään yksi neljäsosa vaatimusten toteutumiseen tarvittavasta absorptioalasta sijoitetaan mahdollisimman tasaisesti vähintään kahdelle ei-vastakaiselle seinäpinnalle siten, että absorptiomateriaali on sillä korkeudella, jossa toiminta tilassa tapahtuu. Vähintään kolmasosa vaadittavasta absorptioalasta sijoitetaan mahdollisimman tasaisesti tilan kattopintaan ja loput absorptiomateriaalista sijoitetaan vapaasti valittuihin tilan pintoihin. Liikuntatiloissa käytettävien absorptiomateriaalien tulee olla iskunkestäviä. Vaihtoehtoisesti materiaalit tulee peittää rimoilla tai reikäpelleillä, joilla materiaali suojataan. Peittävien rakenteiden vaikutus absorptiosuhteeseen tulee ottaa huomioon laskelmissa.

Potilas-, hoito- ja harrastushuoneissa tarvittavan absorptiomateriaalin määrä riippuu etenkin tilan korkeudesta. Luonteva paikka absorptiomateriaalin sijoitukselle näissä tiloissa on kattopinta. Seinäpinnoille sijoitettavan materiaalin tulisi olla iskunkestävää.

10 Rakennuksen korjaaminen ja muuttaminen

Ohjearvoja sovelletaan olemassa oleviin rakennuksiin kohdistuvissa luvanvaraisissa korjaus- ja muutostöissä, kun tilat kuuluvat ääniympäristöasetuksen soveltamisalaan. Alla on esitetty esimerkkejä näistä muutoksista:

- rakennusta tai sen osaa koskeva käyttötarkoituksen muutos: esimerkiksi asuinkäyttöön tarkoitettuja tiloja muutetaan toimistokäyttöön; tuotantotiloja muutetaan toimisto-, opetus- tai hoitotiloiksi
- merkittävä peruskorjaus: olemassa oleva toimisto peruskorjataan niin, että taloteknisten tai rakennusfysikaalisten syiden vuoksi muutokseen haetaan rakennuslupaa

11 Suunnittelukriteereiden raportointi ja todentaminen

Suunnittelukriteereiden toteutuminen todennetaan ja raportoidaan edellisissä luvuissa esitettyihin standardeihin perustuen. Standardien uusiutuessa ja korvautuessa käytetään tekstissä viitattujen osalta aina uusinta standardiversiota.

VIITTEET

- 1 Hongisto, V. (2005). A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance. *Indoor Air* 15 458-468.
- 2 Kemppainen, J., Niemi, H., Kylliäinen, M., Mikkilä, A. (2018). The cost effects of acoustics in open-plan office. *Baltic-Nordic Acoustics Meeting*, 15-18 Apr, Reykjavik, Iceland.
- 3 Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999, 5.2.1999, Helsinki.
- 4 Ympäristöministeriön asetus 796/2017 rakennusten ääniympäristöstä, 24.11.2017, Helsinki.
- 5 Nenonen, S., Hyrkkänen, U., Rasila, H., Hongisto, V., Keränen, J., Koskela, H., Sandberg, E. (2012). *Monitilatoimisto – ohjeita käyttöön ja suunnitteluun*, 64 s, 3.9.2012, Työterveyslaitos.
- 6 Kaarlela, A., Jokitulppo, J., Helenius, R., Keskinen, E., Hongisto, V. (2004). Meluhaitat toimistotyössä - pilottitutkimus, *Työympäristötutkimuksen raporttisarja 9*, Työterveyslaitos, Helsinki.
- 7 Haapakangas, A., Helenius, R., Keskinen, E., Hongisto, V. (2008). Perceived acoustic environment, work performance and well-being - survey results from Finnish offices, 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008, 434-441, July 21-25, Mashantucket, Connecticut, USA. (Poster) (I).
- 8 Kaarlela-Tuomaala, A., Helenius, R., Keskinen, E., Hongisto, V. (2009). Effects of acoustic environment on work in private office rooms and open-plan offices - longitudinal study during relocation, *Ergonomics* 52 (11) 1423-1444.
- 9 Hongisto, V., Haapakangas, A., Varjo, J., Helenius, R., Koskela, H. (2016a). Refurbishment of an open-plan office – environmental and job satisfaction, *Journal of Environmental Psychology* 45 176-191.
- 10 Haapakangas, A., Hongisto, V., Varjo, J., Lahtinen, M. (2018). Benefits of quiet workspaces in open-plan offices – Evidence from two office relocations. *Journal of Environmental Psychology*, 56 63-75.
- 11 Hongisto, V. (2008). Effects of sound masking on workers - a case study in a landscaped office, 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008, 442-449, July 21-25, Mashantucket, Connecticut, USA. (Poster) (I).
- 12 Hongisto, V., Haapakangas, A., Helenius, R., Keränen, J., Oliva, D. (2012). Acoustic satisfaction in an open-plan office before and after the renovation, *Euronoise 2012*, June 10-13, 654-659, Prague, Czech Republic.
- 13 Haapakangas, A., Hongisto, V., Eerola, M., Kuusisto, T. (2017). Distraction distance and disturbance by noise – An analysis of 21 open-plan offices, *The Journal of the Acoustical Society of America*, 141(1) 127-136.
- 14 Virjonen, P., Keränen, J., Helenius, R., Hakala, J., Hongisto, V. (2007). Speech privacy between neighboring workstations in an open office - a laboratory study. *Acta Acustica united with Acustica* 93 771-782.
- 15 Warnock, A.C.C. (1973). Acoustical privacy in the landscaped office. *The Journal of the Acoustical Society of America* 53(6) 1535-1543.
- 16 Keränen, J., Hongisto, V., Hakala, J., Oliva, D. (2011). Speech privacy in an open-plan office with different room acoustic conditions, *Forum Acusticum 2011*, paper 135, 1897-1900, 27 June - 1 July, Aalborg, Denmark.
- 17 Keränen, J., Hongisto, V., Oliva, D., Hakala, J. (2012). The effect of different room acoustic elements on spatial decay of speech – a laboratory experiment, *Euronoise 2012*, June 10-13, 624-629, Prague, Czech Republic.
- 18 Virjonen, P., Keränen, J., Hongisto, V. (2009). Determination of acoustical conditions in open-plan offices - Proposal for new measurement method and target values. *Acta Acustica united with Acustica* 95 (2) 279-290.
- 19 Keränen, J., Hongisto, V. (2013). Prediction of the spatial decay of speech in open-plan offices, *Applied Acoustics* 74 1315-1325.
- 20 Hongisto, V., Varjo, J., Oliva, D., Haapakangas, A., Benway, E. (2017). Perception of water-based masking sounds – Long-term experiment in an open-plan office, *Frontiers in Psychology* 8 1117.
- 21 Haapakangas, A., Kankkunen, E., Hongisto, V., Virjonen, P., Oliva, D., Keskinen, E. (2011). Effects of five speech masking sounds on performance and acoustic satisfaction - implications for open-plan offices, *Acta Acustica united with Acustica*, 97(4) 641-655.
- 22 Radun, J., Hongisto, V., Maula, H., Rajala, V., Al-Ramahi, D., Scheinin, M. (2019). Physiological, psychological, and performance effects of office noise. Paper 607. *Proc. 23rd Int. Congress on Acoustics ICA 2019*, 9-13 Sep, 2019, Aachen, Germany. Available at: <http://pub.dega-akustik.de/ICA2019/data/articles/000607.pdf>.
- 23 Evans, G.W., Johnson, D. (2000). Stress and Open-Office Noise. *Journal of Applied Psychology*, 85(5) 779-783.
- 24 Heinonen-Guzejev, M., Jauhiainen, T., Sala, E., Ström, U., Vuorinen, H.S. (2012). Melulla on monia vaikutuksia terveyteen. *Suomen Lääkärilehti* 36 vsk 67 2445-2450.
- 26 Haapakangas, A., Hongisto, V., Liebl, A. (2019). The Relation between the Intelligibility of Background Speech and Cognitive Performance – A Revised Model. Manuscript submitted for publication, 10 April, 2019.

- 27 Haapakangas, A., Hongisto, V., Hyönä, J., Kokko, J., Keränen, J. (2014). Effects of irrelevant speech on performance and subjective distraction: The role of acoustic design in open-plan offices, *Applied Acoustics* 86 1-16.
- 28 Venetjoki, N., Kaarlela-Tuomaala, A., Keskinen, E., Hongisto, V. (2006). The effect of speech and speech intelligibility on task performance, *Ergonomics* 49(11) 1068–1091.
- 29 Haka, M., Haapakangas, A., Keränen, J., Hakala, J., Keskinen, E., Hongisto, V. (2009). Performance effects and subjective disturbance of speech in acoustically different office types - a laboratory experiment, *Indoor Air* 19 (6) 454-467.
- 30 Hongisto, V., Varjo, J., Leppämäki, H., Oliva, D., Hyönä, J. (2016b). Work performance in private office rooms: The effects of sound insulation and sound masking, *Building and Environment* 104 263-274.
- 31 Standertskjöld, E. 2017. 1970-luku – avotilat ja monikäyttöisyys tavoitteina peruskoulurakennuksissa.
- 32 Shield, B. (2016). Open plan schools: the acoustic challenges., 5th Symposium of the Finnish Society of Voice Ergonomics, 9 September, Helsinki, Finland.
- 33 Baker, L. (2012). A History of School Design and its Indoor Environmental Standards, 1900 to Today. Berkeley, National Institute of Building Sciences, National Clearinghouse for Educational Facilities.
- 34 King, J. (1963). Sound of change in the American schoolhouse. *Sound*, 2, 12–15.
- 35 Kingsbury, H. F. & Taylor, D. W. (1970). Acoustical conditions in open-plan classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 47(1970), 79.
- 36 Sulewsky, J. E. (1970). Acoustics in office landscape and open-plan schools. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 48(1970), 99.
- 37 Teplitzky, A. M. (1970). Effects of Background Noise, Distance, and Speech Directivity in the Open Plan. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 49(1), 1970, 88.
- 38 Veneklasen, P. S. & Hyde, J. R. (1970). Concepts and Acoustics of Open-Plan Offices and Schools. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 47(1), 1970, 78.
- 39 Schellenberg, B. (1975). Noise and sound control in open plan schools. Washington, U. S. Department of Health.
- 40 Shield, B., Greenland, E. & Dockrell, J. (2010). Noise in open plan classrooms in primary schools: A review. *Noise & Health* 1, 225–234.
- 41 Mealings, K. T., Demuth, K., Buchholz, J. M. & Dillon, H. (2015a). The effect of different open plan and enclosed classroom acoustic conditions on speech perception in Kindergarten children. *Journal of the Acoustical Society of America*, 138(4), 2458–2469.
- 42 Brogden, M. (1983). Open Plan Primary Schools: Rhetoric and Reality. *School Organization* 3(1), 27–41.
- 43 Petersen, C. M. & Rasmussen, B. (2012). Acoustic design of open plan schools and comparison of requirements. Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting, June 18–20, Odense, Denmark.
- 44 Canning, D., Cogger, E., Greenland, E., Harvie-Clark, J., James, A., Oeters, D., Orlowski, R., Parkin, A., Richardson, R. & Shield, B. (2015). *Acoustics of Schools: a design guide*. London, Institute of Acoustics & Association of Noise Consultants.
- 45 Takala, J., Rauhalä, J., Lietzén, J. & Kylliäinen, M. (2017). Kokeilu häiritsevyyden rajoittamiseksi avoimessa oppimisympäristössä. *Akustiikkapäivät 2017*. Espoo, 24.-25.8., 27-32.
- 46 Greenland, E. E. & Shield, B. M. (2011). A survey of acoustic conditions in semi-open plan classrooms in the United Kingdom. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(3), 1399–1410.
- 47 Pääkkönen, R., Vehviläinen, T., Jokitulppo, J., Niemi, O., Nenonen, S. & Vinha, J. (2015). Acoustics and new learning environment – A case study. *Applied Acoustics*, 100(2015), 74–78.
- 48 Takala, J. & Kylliäinen, M. (2013). Room acoustics and background noise levels in furnished Finnish dwellings. *Proceedings of the 42nd International Congress on Noise Control Engineering Internoise 2013*. Innsbruck, September 15-18.
- 49 Kylliäinen, M. & Pääkkönen, R. (2017). Äänioolosuhteet avoimissa oppimisympäristöissä. *Akustiikkapäivät 2017*. Espoo, 24.-25.8., 21-26.
- 50 Pirn, R. (1971). The Class Circle – an Acoustical Design Concepts for Open-Plan Schools. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 97, 97.
- 51 RIL 243-3-2008 Rakennusten akustinen suunnittelu. Toimistot. Rakennusinsinöörien liitto RIL ry., Helsinki.
- 52 Kylliäinen, M. & Valovirta, I. 2011. Opetustilojen huoneakustiikka – paluu juurille. *Akustiikkapäivät 2011*. Tampere, 11.–12.5., 285–290.
- 53 Hodgson, M. & Nosal, E.-M. (2002). Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America* 111(2002), 932–939.
- 54 Yang, W. & Bradley, J. S. (2009). Effects of room acoustics on the intelligibility of speech in classrooms for young children. *The Journal of the Acoustical Society of America* 125(2009), 922–933.
- 55 Bradley, J. S. & Sato, H. (2003). On the importance of early reflections for speech in rooms. *The Journal of the Acoustical Society of America* 113, 3233–3244.
- 56 Sato, H. & Bradley, J. S. (2008). Evaluation of acoustical conditions for speech communication in working elementary school classrooms. *The Journal of the Acoustical Society of America* 123, 2064–2077.
- 57 Bradley, J. S. (2009). A new look at acoustical criteria for classrooms. *Internoise 2009*, 23.-26.8., Ottawa.

- 58 Jokitalo, J., Pirilä, S., Niemitalo-Haapola, E., Rantala, L. (2017). Osallistava melunhallinta ja akustointi - Miten opetustilan ääniympäristöä voidaan parantaa? Rakennusfysiikka 2017 - Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut, 24.-26.10.2017 Tampere, 597-602.
- 59 SFS-EN ISO 3382-2 Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 2: Reverberation time in ordinary rooms. Suomen standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki.
- 60 SFS-EN IEC 60268-16 Sound system equipment. Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Suomen standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki.
- 61 SFS-EN ISO 3382-3 Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 3: Open plan offices. Suomen standardisoimisliitto SFS ry, Helsinki.
- 62 RIL 243-1-2007 Rakennusten akustinen suunnittelu. Akustiikan perusteet. Rakennusinsinöörien liitto RIL ry., Helsinki.
- 63 Houtgast, T., Steeneken, H.J.M. (1985). A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria. The Journal of the Acoustical Society of America, 77(3) 1069-1077.
- 64 Cabrera, D., Yadav, M., Protheroe, D. (2018). Critical methodological assessment of the distraction distance used for evaluating room acoustic quality of open-plan offices. Applied Acoustics 140 132-142.
- 65 Hongisto, V., Oliva, D., Rekola, L. (2015). Subjective and Objective Rating of Spectrally Different Pseudo-random Noises – Implications for Speech Masking Design, The Journal of the Acoustical Society of America, 137(3) 1344-1355.
- 66 RT 95-11151 Toimistotilat. Yleiset suunnitteluperusteet. Rakennustietosäätiö RTS ry., Helsinki.
- 67 RT 95-11152 Toimistotilat. Tilasuunnittelu. Rakennustietosäätiö RTS ry., Helsinki.
- 68 RT 95-11152 Toimistotilat. Työpistesuunnittelu. Rakennustietosäätiö RTS ry., Helsinki.
- 69 Hongisto, V., Keränen, J., Virjonen, P., Hakala, J. (2016c). New method for determining sound reduction of furniture ensembles in laboratory, Acta Acustica united with Acustica 102 67-79.
- 70 ISO DIS 23351-1 Acoustics - Measurement of speech level reduction of furniture ensembles and enclosures – Part 1: Laboratory method.

Rakennuksen ääniolosuhteilla tarkoitetaan niitä sisä- tai ulkotilan akustisia olosuhteita, jotka vaikuttavat muun muassa puheen erotettavuuteen tai häiritsevyyteen, puhujan äänenkäyttöön ja tilan kaiuntaisuuteen ja jotka on tärkeää ottaa huomioon tilan käyttötarkoituksen mukaisella tavalla. Tilan tarkoituksenmukainen käyttö edellyttää sopivia ääniolosuhteita. Asianmukaiset ääniolosuhteet mahdollistavat niiden tarkoituksenmukaisen käytön liittyen esimerkiksi oppimiseen ja vuorovaikutukseen, työskentelyyn, toipumiseen sairaudesta, lepoon ja kokemukseen ympäristön miellyttävyydestä. Ohjeessa esitetään menettelytavat rakennuksen ja sen tilojen ääniolosuhteiden suunnitteluun ja sitä kuvaavien ominaisuuksien todentamiseen. Ääniolosuhteiden suunnittelun tarkoituksena on hallita äänen etenemistä, heijastumista ja vaimenemista käyttötarkoitukseltaan erilaisissa tiloissa. Ohjeessa opastetaan menettelytavoista, joiden avulla ääniolosuhteita koskevat vähimmäisvaatimukset voidaan saavuttaa.

